

el desafío de vivir con lo que produce

un *único* planeta

ambiente

energía

alimentos

ciudades

roberto ares

 VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES

AZARA
DESCUBRÍ TU ESPÍRITU EXPLORADOR

**un
planeta**



roberto ares

ares.roberto@gmail.com

www.robertoares.com.ar

el desafío de vivir con lo que produce

un *único*
planeta

AZARA
DESCUBRÍ TU ESPÍRITU EXPLORADOR

W VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES

VÁZQUEZ MAZZINI EDITORES

Hidalgo 775, 7º piso - Ciudad de Buenos Aires - Argentina

Tel. (54-11) 4905-1232

info@vmeditores.com.ar

www.vmeditores.com.ar

Reservados los derechos para todos los países. Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de cubierta, puede ser reproducida, almacenada o transmitida de ninguna forma, ni por ningún medio, sea éste electrónico, químico, mecánico, electro-óptico, grabación, fotocopias, CD ROM, Internet, o cualquier otra, sin la previa autorización escrita por parte de la Editorial. Este trabajo refleja exclusivamente las opiniones profesionales y científicas de los autores. No es responsabilidad de la Editorial el contenido de la presente obra.

Impreso en la Argentina. Se terminó de imprimir en el mes de febrero de 2016.

© VÁZQUEZ MAZZINI EDITORES, República Argentina - 2016

Ares, Roberto,

Un planeta : el desafío de vivir con lo que produce un único planeta / Ares, Roberto. - 1a ed. - Ciudad Autónoma de Buenos Aires : Vázquez Mazzini Editores, 2016.

304 p. ; 30 x 21 cm.

ISBN 978-987-9132-49-4

1. Ciencia del Medio Ambiente. I. Título.
CDD 577

PRESENTACIÓN

Hace tiempo que desde la **Fundación Azara** deseábamos profundizar más en las problemáticas ambientales con sólidos conocimientos y de manera multidisciplinaria.

Hasta el presente el trabajo de la Fundación Azara se centró principalmente en las ciencias naturales y antropológicas, y desde las ciencias naturales –con una visión moderna y comprometida– se abordaron las problemáticas ambientales más directas y relacionadas principalmente con la biodiversidad: especies amenazadas, especies invasoras, desmontes, sobrepesca. Incursionando en menor medida en otras problemáticas como cambio climático, erosión costera, cambio de uso de suelo y contaminantes en el ambiente marino; y habiendo realizado algunas campañas de concientización respecto a la huella ecológica y el tratamiento de los residuos domiciliarios.

Pero la llegada de esta obra **“Un Planeta”** del ingeniero Roberto Ares, coincide con el interés de la Fundación Azara en profundizar el trabajo hasta ahora realizado en las principales problemáticas ambientales, conociendo el contexto mundial y actuando regionalmente. En este sentido la institución ha decidido crear un **“Observatorio Ambiental Argentino”** invitando a expertos en las distintas temáticas y con distintas formaciones dentro de las ciencias naturales y ambientales, las ingenierías, las ciencias económicas, el derecho y la sociología, entre otras áreas del conocimiento.

El objetivo del Observatorio es el de emitir periódicamente documentos e informes sobre distintos temas ambientales y proponer alternativas para el desarrollo de nuestro país o de regiones en particular del mismo, en el contexto mundial. Asimismo, pretende responder a inquietudes presentadas por ejemplo por organismos gubernamentales, cámaras de distintos sectores productivos, empresas o medios de comunicación.

El Observatorio tiene una mirada moderna, pragmática y ética, y cuenta con el asesoramiento de reconocidos expertos internacionales.

Las principales líneas de trabajo del Observatorio en sus inicios están relacionadas a: Cambio Climático, Recursos Naturales, Alimentos y Energías.

En este contexto es que la Fundación Azara celebra la aparición de esta extraordinaria obra que es una síntesis indispensable para empezar a comprender los desafíos que nos plantean las problemáticas ambientales en las que nos encontramos inmersos como humanidad.

El egocentrismo de nuestra especie nos hace pensar que podremos solucionar todo, que lograremos superar los problemas con tecnología, que tenemos el –manejo– del Planeta, pero estamos muy lejos que eso sea real. Todo, absolutamente todo lo que los seres humanos podemos crear es a partir de los recursos con que cuenta un Planeta y hay muchas cosas de él que aún no comprendemos lo suficiente y del Universo ignoramos casi todo.

¿A caso será que preferimos profundizar ese egocentrismo para no querer ver la realidad por la que atraviesa la humanidad en su conjunto? Quizás eso nos obligaría a un cambio de actitud individual. En 60 años la población se triplicó. El 80% de las riquezas subterráneas del Planeta son aprovechadas por el 20% de la población mundial. La mitad de la riqueza está concentrada en el 2% de los más ricos. La mitad más pobre de la población del Planeta tiene sólo el 1% de los bienes mundiales. La mitad de las personas bajo la línea de pobreza vive en países ricos en recursos. Una de cada cuatro personas vive como hace 6.000 años. Mil millones de personas padecen hambre. La fortuna de las dos personas más ricas del mundo supera el producto bruto interno (PBI) combinado de los 45 países más pobres. El mundo invierte 12 veces más en gastos militares que en ayuda para el desarrollo. En los últimos 50 años modificamos el Planeta más rápido que en todo el tiempo anterior de nuestra existencia.

Quizás nos debiéramos preguntar si somos realmente la Sociedad del Conocimiento, y si es así para que lo estamos usando

PRÓLOGO

Durante un estudio realizado en California (*) se colocaron aparatos de medición de consumo eléctrico online en 118 hogares vecinos de un mismo edificio durante 9 meses. Semanalmente se le informaba a cada uno sobre el consumo en comparación con el promedio de los hogares más eficientes. La mitad recibía información medida en dólares gastados (un ahorro sobre este valor redundaría en un beneficio personal) y la otra mitad en emisiones de dióxido de carbono CO₂ (el ahorro redundaría en un beneficio comunitario). Los hogares que recibieron información medida en CO₂ redujeron el consumo el 8,2% y los que tenía hijos lo redujeron en el 19%. Los hogares que recibieron información en dólares, aumentaron el consumo. Este ejemplo pone de manifiesto un aspecto que motiva este trabajo: como se ajusta la ética frente al cambio climático. Es el grado de responsabilidad (carga de conciencia) que asumimos cuando encontramos que nuestras acciones afectan a otros en el presente y en el futuro. (*) *Este estudio fue publicado en febrero del 2015 en la revista de la Academia de Ciencias de Estados Unidos PNAS (<http://www.pnas.org/content/112/6/1654>). Para simplificar la lectura y porque su finalidad es de divulgación, una síntesis informativa de miles de fuentes específicas, evitamos a lo largo de todo este trabajo las referencias bibliográficas.*

Este trabajo se llama *UN PLANETA* como resumen de “volver a consumir lo que produce y desechar lo que recicla nuestro ÚNICO planeta”. En el 2015 consumimos y desechamos lo que produce y recicla 1,5 planetas. Nuestro planeta es único, no es descartable y superamos su capacidad de producción y reciclado. ¿Pero, es *nuestro* o solo lo compartimos con el resto de los seres vivos? ¿Cuál debería ser nuestra conducta ante esta convivencia? ¿Qué ocurre con las futuras generaciones que recibirán lo que dejemos? Tenemos al menos dos dimensiones: una biológica que involucra a todos los seres vivos y otra temporal que involucra a las futuras generaciones.

El reto hacia el futuro es inmenso comparado con el pasado ya que se están produciendo 3 transiciones simultáneas: demográfica (con un cambio de tendencia y forma de vida), económica (con mayor calidad de vida y crecimiento que difícilmente se pueda mantener) y ambiental (con un stress sobre la naturaleza que se hace notar con crudeza). La economía y el ambiente no recibieron una descripción homogénea. Un indicador económico como el PBI (Producto Bruto Interno) no mide el agotamiento de los recursos; no toma en cuenta el balance de recursos y obligaciones. Cuando se tala un bosque y se prepara para la agricultura, se computa como crecimiento del PBI. Incluso el Estado entrega presupuestos para subsidiar actividades que son perjudiciales para el ambiente (minería y petróleo), en tanto se gastan otros para proteger áreas en Parques Nacionales. Los retos se pueden reflejar en dos líneas de argumentos: (1) la denominada “Gran

Aceleración”, una larga lista de indicadores mundiales socio-económicos y ambientales que se han acelerado desde 1950, y (2) los “límites planetarios” que son aquellos umbrales que una vez superados puede significar la imposibilidad de volver atrás.

El reto abarca 4 aspectos muy amplios. (1) el Ambiente, considerando los cambios que producimos en la atmósfera y los océanos, y también los efectos sobre la vida y las consecuencias éticas de estos cambios. (2) la producción de Energía, analizado como el estado actual mediante el uso de energías fósiles y la migración a energías renovables. (3) la producción de Alimentos, que incluye la agricultura, ganadería, pesca y actividades forestales. (4) las Ciudades, como las áreas más impactadas por los humanos y que mayor atención merecen.

El cambio climático es un problema de escala global y puede volverse incomprensible a escala humana. Diez kilómetros por encima de nosotros se inicia un universo inmenso y vacío (ignoramos si hay otras formas de vida) y diez kilómetros por debajo, la vida casi no existe debido a que la Tierra tiene un núcleo fundido. En esta fina epidermis se agrupa toda la vida incluyendo a 7.400 millones de humanos (enero-2016), cada uno con sus expectativas. Un número que equivale a 8.900 ciudades de Rosario (Santa Fe) y que crece a un ritmo de una por semana.

El aumento de CO₂ en la atmósfera potencia el efecto invernadero y se produce el calentamiento global. Cada año se liberan a la atmósfera 36 GtCO₂ (gigatoneladas o mil millones de toneladas de CO₂) procedentes de combustibles fósiles que se extraen del subsuelo. Equivale al volumen de un cubo de 27 km de lado lleno de CO₂ gaseoso o de 2,5 km de lado lleno de carbono sólido. ¿Qué diría si supiera que, según el Banco Mundial, el 1% de estas emisiones de CO₂ corresponde a la quema de gas en la boca de pozos de petróleo y que se desperdician en el primer instante? El CO₂ no es malo de por sí, pero existe una relación directa entre el nivel de CO₂ y la temperatura. En 100 años el CO₂ aumento 100 ppm en la atmósfera (de 300 a 400 ppm, un 33%) y la temperatura media global aumentó 0,8 °C (desde un promedio global de 16 °C). Pero existe un retardo entre ambos incrementos. Como el CO₂ tiene una persistencia de 100 años, aunque detengamos el incremento de CO₂, el existente seguirá aumentando la temperatura. La tendencia actual puede llevar este valor a +4 °C en el año 2100; equivale a trasladarse hacia el norte a 10 metros por día en latitudes como Buenos Aires. También podría ocurrir que antes de llegar a esta situación las consecuencias sobre la economía global sean demasiado graves y se produzca una corrección abrupta.

Estos valores inmanejables se hacen más complejos por la confusión entre unidades. Por ejemplo, los humanos añadimos a la atmósfera 36 GtCO₂ al año (medido como moléculas de dióxido de carbono), lo que equivale a 10 GtC (medido como átomos

de carbono) o también a 55 GtCO₂eq (medido como todos los gases efecto invernadero convertidos a CO₂ equivalente). Sin ninguna duda, esto genera una forma de confusión permanente. Los problemas son globales, casi inasibles para una evaluación personal, pero los aportes que realicemos a la solución serán locales. Una nueva "ética individual" debería incluir el precepto de no infligir dolor o sufrimiento a otros seres vivos; dejar la Tierra en las condiciones que la encontramos o mejores; no emplear más recursos de los necesarios y trabajar para cicatrizar cualquier herida que hayamos infligido en la Tierra. Nos ocuparemos en varias oportunidades de una nueva ética, pero en dos aspectos es relevante: la responsabilidad por el cambio climático y sus efectos (hacia los más vulnerables y las generaciones futuras) y la relación con los demás seres vivos (mascotas, ganadería, experimentación científica, control de plagas, especies exóticas y nativas, ecosistemas, naturaleza en general). Pensemos por un momento en dos "derechos humanos" que consideramos básicos: el derecho a "generar energía" y el derecho a "producir alimentos" (los animales toman energía y alimentos de la naturaleza, no los producen). En ambos casos afectamos al ambiente y a los otros seres vivos y generamos un conflicto entre "derechos humanos", "derechos de los animales" y "derechos de la naturaleza".

El origen de *UN PLANETA* ocurrió a inicios del 2013 cuando participaba en dos proyectos. Uno de turismo sustentable y conservación en Esteros de Iberá (www.ecoposada.com.ar) con la Fundación de Historia Natural Félix de Azara y otro en una empresa (www.sustentator.com) de energía renovable en busca de la sustentabilidad energética. ¿Sustentabilidad o Conservación, cual de ambas disciplinas me representaba? Sería bueno disponer de las definiciones y diferencias en forma precisa ya que, según fuera la respuesta, algunas cosas pueden tener una valoración ética diferente (ser buenas o malas). La respuesta podría encontrarse al extremo de un camino largo: estudiar todos los problemas a los que se enfrenta la actual civilización y presentarlos en la forma lo más aséptica posible. Todos los

puntos de vista con énfasis similar, evitando las opiniones concebidas. Años más tarde, con este trabajo adelantado, puedo asumir que me inclino por ser un conservacionista (al menos en esta etapa de mi vida, ya que por formación debería ser un sustentador). El punto básico es que un sustentador es optimista y esperanzado en la tecnología, en tanto un conservacionista es pesimista porque el daño es de difícil y lenta remediación. Hay buenas razones para confiar en la ciencia y tecnología, ya que son responsables del impresionante crecimiento en las últimas 2 centurias. Y también hay buenas razones para dudar de que ellas mismas vayan a poder resolver los enormes problemas que generaron.

En español dos palabras son casi equivalentes (salvo definiciones poco aceptadas en general): sustentabilidad y sostenibilidad. Pero, el verdadero problema no reside en que vocablo usar, sino en el uso desvergonzado. Que algo sea sustentable significa que perdurará en el tiempo debido a que no se compromete el recurso a futuro. Se debe asegurar la sustentabilidad económica, social y ambiental. Las 3 condiciones deben cumplirse en simultáneo para una perpetuidad del proyecto. El problema surge cuando todos se sienten "obligados" a mencionar que hacen las cosas en forma sustentables solo para seguir el discurso políticamente correcto. Entonces, todo es sustentable y de nada estaremos seguros. La única solución es entender de qué se habla y dudar del uso de la palabra sustentable.

El futuro es incierto. Pronosticar la evolución del ambiente para el año 2100 es observarlo mediante indicios y cuantos más indicios se acumulan más se conoce, aunque la incertidumbre puede aumentar. La capacidad de producción biológica del planeta (biocapacidad) considera a la Tierra como "utilizable"; pero el área productiva podría ser muy pequeña en el futuro, no porque sea infértil, sino porque podría ser "sagrada" (pensemos en grandes extensiones como Reservas Naturales). Nadie conoce el camino hacia la sustentabilidad del planeta, porque nadie conoce el punto de destino. Lo que hacemos son correcciones en nuestro accionar basados en la experiencia vivida. Partiendo desde experiencias diferentes tratamos de acercarnos a puntos de destino distintos.

Esta obra no persigue fin comercial alguno por parte del autor y la Fundación Azara. Su principal objetivo es la divulgación –por medio del libro y su versión digital gratuita– de las temáticas aquí tratadas, entendiendo que la información compilada en esta obra da un marco de referencia sobre el contexto mundial incluyendo no en pocas ocasiones referencias a la Argentina.

AGRADECIMIENTOS

Deseo mencionar a todos quienes, de muchas formas concurrentes, han contribuido a que este trabajo fuera realidad. Mi agradecimiento entonces a los amigos y colegas de la Fundación de Historia Natural Félix de Azara (www.fundacionazara.org.ar) y Aves Argentinas (www.avesargentinas.org.ar), con ambas entidades tengo un cariño entrañable. A la editorial Vazquez Mazzini (www.vmeditores.com.ar) con quienes editamos libros desde hace una década. A los amigos en la empresa Sustentator (www.sustentator.com), en cuyo proyecto de energías renova-

bles estoy inmerso. A mis amigos de Esteros de Iberá (www.ecoposada.com.ar) con quienes compartimos un emprendimiento de conservación y ecoturismo. Como en todas las oportunidades el libro está dedicado a Cora, mi amiga desde hace más de 40 años. Con ella hemos conversado muchos de los temas en busca de entender las dificultades en las que nos encontramos. También, para Carla y Andrea que me llenan de orgullo. **LA TAPA.** La foto de la portada es de Stephane Bidault y fue obtenida en el año 2014 en el Parque Nacional Calilegua (Jujuy).

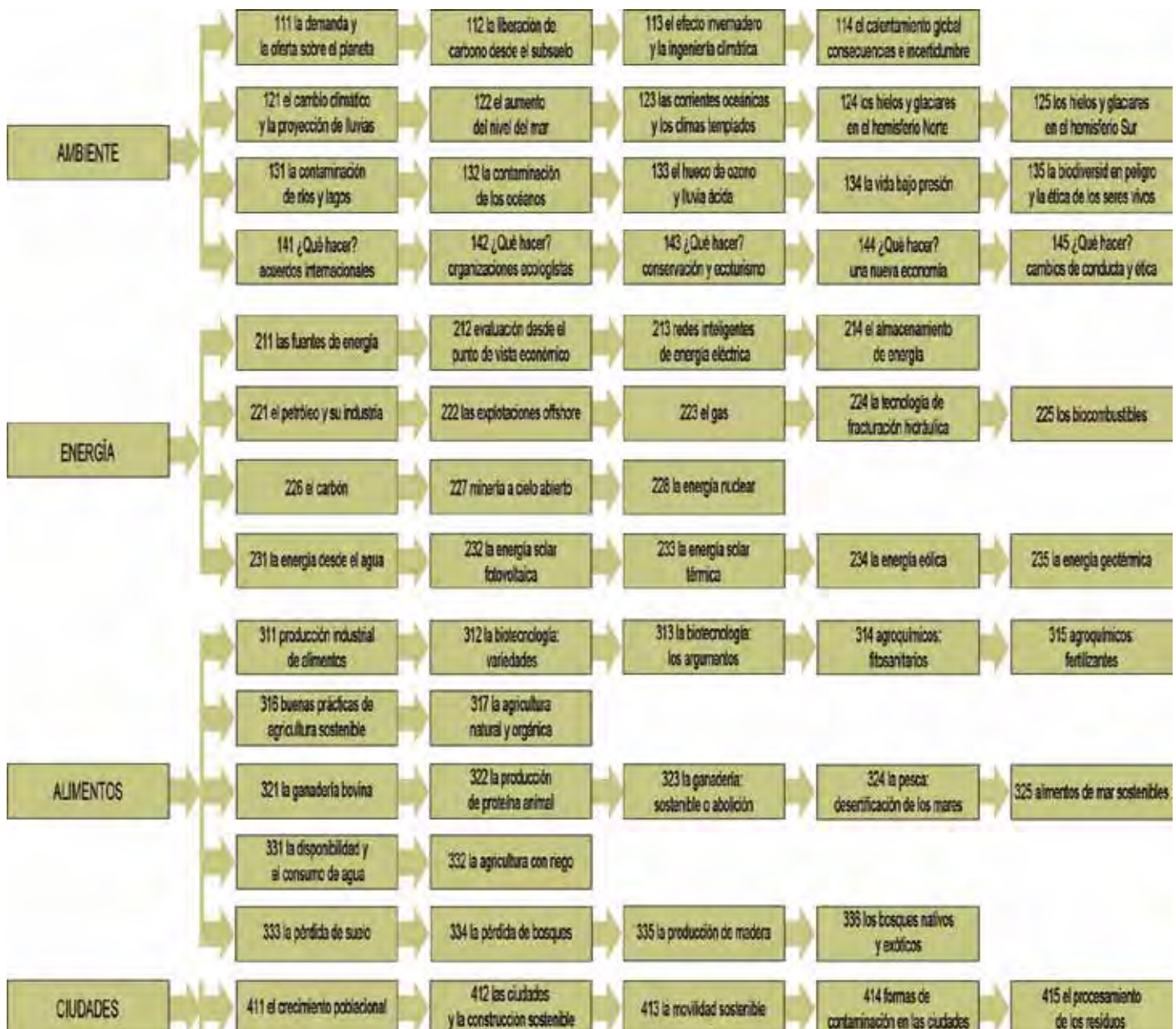
EL CONTENIDO

Este trabajo se estructura en 4 secciones: ambiente, energía, alimentos y ciudades. Los estudios discurren en 59 capítulos con un contenido autónomo, aunque guardan un orden de presentación y argumentación natural entre ellos.

AMBIENTE. Esta sección tiene 4 bloques temáticos. El primer bloque (111-114) se refiere a la relación entre el consumo y el carbono en la atmósfera que determina el calentamiento global. La huella ecológica mide el espacio físico en el planeta (hectáreas) que se requieren para satisfacer nuestra demanda. Como la biocapacidad de generación de recursos renovables se está reduciendo, obliga al aumento del consumo de los recursos naturales no-renovables. Entre los recursos naturales se en-

cuentran los combustibles fósiles, los minerales, el suelo, el aire y el agua. Este aumento de carbono en la atmósfera potencia el efecto invernadero. Como medio de remediación se plantearon medidas de la ingeniería climática. El efecto invernadero induce al calentamiento global de la atmósfera e hidrósfera (océanos), con sus incertidumbres y consecuencias.

El segundo bloque (121-125) se ocupa de algunas de las consecuencias. El cambio climático afectará al régimen de lluvias, de forma que se estima que las zonas secas serán más secas y las lluviosas tendrán más lluvias. El calor pasa de la atmósfera a los océanos, lo que puede afectar a las corrientes oceánicas y esto a los climas templados. El principal motor de las corrientes oceánicas está en el Atlántico Norte y puede ser afectada por la



pérdida de hielo en Groenlandia. Una consecuencia del calentamiento global es la pérdida de hielos y glaciares en el Ártico y la Antártida. La pérdida de los hielos polares influye en el nivel del mar que continuará aumentando y poniendo en riesgo las ciudades costeras y los deltas.

El tercer bloque (131-135) analiza los problemas en el agua y de la vida. La contaminación de ríos, lagos y humedales es consecuencia de la industria y agricultura. Los ríos tienen sus problemas particulares debido a las represas hidroeléctricas y el dragado. Los deltas están muy afectados por reducción de nutrientes, penetración de agua salada, erosión de las costas y hundimiento. Los océanos sufren de un incremento de desechos químicos (plástico) y la acidificación (aumento de CO₂) que afecta a los seres vivos. La lluvia ácida es el resultado del aumento del azufre en la atmósfera. El hueco de ozono responde a ciertos compuestos químicos industriales en las capas altas de la atmósfera. La vida se encuentra bajo presión y algunos postulan una sexta extinción en masa y una nueva etapa geológica (Antropoceno). El argumento es que sería la primera extinción en masa que tiene una razón biológica (el hombre) en lugar de física. En tanto, se observa la reducción en la biodiversidad y pérdida de ecosistemas, con una creciente cantidad de especies en riesgo de extinción. De esta forma se delinea la ética que vincula al hombre y el resto de los seres vivos. Es una nueva forma de observar como debe ser la ética, moral y conducta del hombre frente a todas las formas de vida.

El último bloque (141-145) es un balance preliminar sobre los diferentes frentes de acción para revertir la tendencia. Se analizan los modelos de los acuerdos internacionales en diversas variantes (declarativos, obligatorios y optativos). Se clasifican las organizaciones ecologistas en base a sus orígenes, objetivos y forma de actuar. Es un intento por encontrar nuestro lugar para la acción. Se estudian las acciones de conservación en áreas protegidas y el ecoturismo, como medio para preservar los ecosistemas delicados del planeta. Se presentan nuevas visiones sobre la economía y su enlace con el ambiente, así como los impuestos y bonos por contaminación. Por último, se analiza la ética que debemos adoptar frente al cambio climático, así como las propuestas para enfrentar el deterioro del ambiente.

ENERGÍA. Esta sección se acomoda en 3 bloques temáticos. El primer bloque (211-214) presenta un resumen de las fuentes de energía. Siendo que las renovables son las preferidas por no ser contaminantes, se hace un breve resumen de las dificultades que enfrentan. Las fuentes de energía pueden ser comparadas desde varios puntos de vista, sean económicos, ambientales e incluso sociales. Se definen las herramientas para la evaluación. Un problema a futuro con la red eléctrica es la necesidad de inteligencia distribuida. Otra necesidad es el almacenamiento de energía eléctrica dado que la generación renovable es aleatoria.

El segundo bloque (221-228) se refiere a las energías convencionales, la minería y energía nuclear. Se analiza la industria del petróleo y los impactos ambientales. Se incluyen las industrias químicas y farmacéuticas. Se analizan los peligros

de las explotaciones offshore en mares y costas. Se evalúa la explotación de gas natural e hidrato de metano. Se estudia la tecnología de fracturación hidráulica y las críticas que soporta en las comunidades donde se utiliza. Los biocombustibles líquidos derivados de productos agrícolas enfrentan duras críticas por competir con la producción de alimentos. Los combustibles fósiles tienen, además de ser contaminantes, el problema de ser no renovables: es el "pico del petróleo", momento desde el cual la producción comienza a reducirse desde el máximo. A futuro nos enfrentamos con otros "picos": por ejemplo el poblacional (11.000 Mhab en el 2100), de agua (glaciares, acuíferos, ríos), de suelo para agricultura, de fertilizantes minerales (fósforo), y residuos urbanos, etc. En todos se debe adoptar una actitud preventiva para evitar un colapso en el sistema económico. En la misma línea se analiza el carbón y la minería, ambos con idénticas críticas. El carbón es el mayor contaminante de los combustibles fósiles y se aplica para generar energía eléctrica. Se analiza la minería a cielo abierto por los peligros ambientales y la futura explotación minera en el océano. Finalmente, la energía nuclear es una solución no contaminante para la provisión de energía eléctrica. Se estudian los peligros derivados de los residuos radiactivos y la proliferación de armas nucleares.

El tercer bloque (231-235) analiza las energías renovables. La generación de energía eléctrica desde el agua incluye la hidroeléctrica (represas en los ríos) que es la más difundida entre las renovables y tiene muchas objeciones por la fragmentación de las cuencas. También se ensayan técnicas para obtener energía eléctrica en el mar. La energía solar fotovoltaica se ocupa de producir energía eléctrica en grandes centrales y en el formato de autoproducción para hogares. La energía solar térmica se utiliza para calentar agua y como plantas industriales de generación eléctrica. La energía eólica se explota para la generación eléctrica. La energía geotérmica se usa para agua caliente o energía eléctrica, aunque solo está disponible en zonas con actividad magmática cercana a la superficie.

ALIMENTOS. Esta sección se agrupa en 3 bloques. El primer bloque (311-317) ilustra sobre las ventajas y las objeciones de la producción industrial de alimentos por la agricultura. Se estudian las características de la "revolución verde" que permitieron aumentar el rendimiento de los cultivos: tecnología, maquinaria, transgénicos, agroquímicos. Los organismos transgénicos llevan una carga de objeciones desde diversos puntos de vista, sin embargo la distribución y variedad es explosiva. Se suman los agroquímicos: plaguicidas y fertilizantes, cada uno con sus beneficios e inconvenientes. Las buenas prácticas agrícolas incluyen la conservación del suelo, el uso de resistencia natural, la labranza mínima y siembra directa. Se analizan algunos modelos de agricultura natural y orgánica. Una de las herramientas para llegar a la sustentabilidad es la certificación. Por ejemplo, RTRS para soja, ganadería de pastizal; FSC para madera, MSC para pesca, ASC para acuicultura. No existe una sola vía para la sustentabilidad en la producción de alimentos,

por el contrario existe un abanico de propuestas donde algunas son las más aceptadas.

El segundo bloque (321-325) se ocupa de los alimentos de origen animal en sus diferentes variantes. Se analiza la producción de ganado vacuno en forma industrial y el impacto ambiental y sanitario. Se estudia la producción avícola por ser la más importante fuente de proteína animal. Se verifica que posibilidad tiene la ganadería de ser sustentable, siendo que se considera como la principal fuente de contaminantes en la producción de alimentos (emisión de metano, contaminación de las aguas o competencia por los granos). Se presentan los mecanismos de certificación y producción no convencional. Se analizan los resultados de las áreas protegidas en el mar como medio para proteger la vida silvestre. Se compara la sobrepesca y la deforestación marina por acción de las flotas pesqueras. La acuicultura es una forma de reemplazo de la pesca pero tiene aún varios inconvenientes que resolver antes de ser sustentable. Se estudian las buenas prácticas para mejorar la pesca y acuicultura, la certificación del origen y los peces transgénicos para acuicultura.

El tercer bloque (331-336) se refiere al suelo y los bosques. Se hace un balance sobre las formas de riego y el impacto ambiental. Se estudian las técnicas de producción sin suelo. Se analiza la pérdida de suelo y desertificación debido a la explotación desmedida (sobrepastoreo o agricultura de monocultivo); así como la pérdida de bosques para extender la frontera agro-

pecuaria. Se estudia la producción de madera mediante el manejo de bosques naturales (silvicultura), la madera certificada, la forestería transgénica y la industria de celulosa. Por último se evalúan los argumentos en la disputa entre bosques de árboles nativos y exóticos y la forma de convivencia.

CIUDADES. Esta sección de un solo bloque analiza el crecimiento poblacional, como cambia la estructura por edades, la relación entre generaciones y el vuelco de la población a las ciudades. Se estudia cómo lograr que las ciudades en su arquitectura y urbanismo y los materiales de construcción sean sustentables. El crecimiento poblacional y el vuelco a las ciudades tienen consecuencias en la pobreza, inequidad, derecho a subsidios, marginalidad, pérdida de red social de contención, etc. Luego se ocupa de analizar la movilidad y sustentabilidad del sistema de transporte. Se estudian las políticas de gestión del tránsito, de congestión, de conducción y de vehículos. Finalmente se tratan los diferentes tipos de contaminación que se observan en las ciudades y de los residuos y el procesamiento. Las ciudades han creado nuevos tipos de contaminación (lumínica, térmica, acústica) que se suman a los tradicionales. Se trabaja con la secuencia histórica de procesamiento de residuos hasta llegar al concepto de reciclaje total (basura cero). Un particular tipo de residuo son los electrónicos que llevan una alta carga de contaminación y la necesidad de reciclar para recuperar metales.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Las fuentes bibliográficas y referencias fueron trastocadas por la era digital que ya lleva 20 años y no deja de desestabilizar los cimientos de la difusión del conocimiento. Las revistas se acceden mediante Internet (nunca más en papel); los autores se expresan mediante blogs y discuten en foros; ciertos sitios se ocupan de publicar resúmenes de artículos e indexan comunicaciones que antes eran casi inaccesibles. Si usted tiene este trabajo en papel es solo un vestigio de la transición, en un futuro cercano solo se dispondrá de la versión digital. Hoy día se lee mucho más, pero menos en papel y más en formatos electrónicos. Lo que en una época era la bibliografía de un libro se ha convertido en fuentes difusas que se acceden mediante la red. No es internet (como red de acceso e interconexión) la que informa, son los autores y los sitios que los contienen (los generadores del contenido). Es tarea del lector

e investigador determinar el valor y credibilidad de cada contenido. Antes, el tamaño del estante de la biblioteca dedicado a un tema nos daba la idea de lo que ignorábamos. Hoy el espesor de la pantalla de la notebook no nos dice nada del inmenso océano de información oculta en una búsqueda de Google. Es posible acceder y seguir a casi todas las grandes organizaciones de investigación cuando en el pasado era necesario recurrir a bibliotecas. Por ejemplo, hace 40 años recibía en mi casa por correo las revistas Oceanus o Scientific American y desde hace 15 años lo hago mediante el computador. Semanalmente llegaban a mi hogar paquetes de correos de información sobre temas de mi profesión, hoy no llega una sola carta al buzón. Lo que sigue son algunos de los sitios web usados y de los cuales provienen las ideas, datos y figuras que fueron modificadas para presentar en este trabajo.

GENERALES

<http://www.sciencedaily.com/>
<http://www.livescience.com/>
<http://www.who.edu/oceanus/>
<http://www.technologyreview.es/>
<http://www.ipsnews.net/>
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>
<http://blogs.kqed.org/science/>
<http://www.nbcnews.com/science>
<http://www.independent.co.uk/environment/>
<http://www.theguardian.com/uk/environment>
http://www.bbc.com/news/science_and_environment
http://elpais.com/tag/cambio_climatico/a/
<http://www.elmundo.es/>
<http://www.corriere.it/scienze/>
<http://www.cimmyt.org/es/>
<https://www.wikipedia.org/>
<http://www.sciencemag.org/>
<http://www.nature.com/>
<http://www.pnas.org/>
<http://discovermagazine.com/>
<http://www.newscientist.com/>
<http://www.scientificamerican.com/>
<http://www.investigacionyciencia.es/>
<http://www.muyinteresante.es/naturaleza>
<http://cienciahoy.org.ar/>
<http://www.americanscientist.org/>
<http://digital.bl.fcen.uba.ar/>
<http://www.larecherche.fr/>
<http://www.wired.com/category/science>
<http://www.economist.com/news/science-and-technology>
<http://www.popularmechanics.com/>
<http://smithsonianscience.org/>
<http://www.redsustainable.org/>
<http://www.wri.org/>
<http://ourworldindata.org/>

<http://www.globalissues.org/>
<http://scienceblogs.com/>
<http://www.earthmagazine.org/>
<http://www.ambiente.gov.ar/>
<http://livinggreenmag.com/>
<http://www.ecoportal.net/>
<http://hdr.undp.org/es/reports>
<http://www.worldmapper.org/index.html>
<http://soc.org.uk/>
<http://www.globallandproject.org/>
<http://ecoexplorer.arcgis.com/eco/maps.html>
<http://www.ucsusa.org/>
<http://www.oceanconservancy.org/>
<http://sites.agu.org/>
<http://earthjustice.org/>
<https://theconversation.com>
<http://issuu.com/home>

AMBIENTE

<http://www.birdlife.org/>
<http://www.avesargentinas.org.ar/>
<http://wwf.org/>
<http://www.vidasilvestre.org.ar/>
<http://www.fauna-flora.org/>
<http://www.rainforest-alliance.org/>
<http://www.iucn.org/>
<http://www.foei.org/>
<http://www.nature.org/>
<http://www.cbd.int/>
<http://www.nwf.org/>
<http://www.nationalgeographic.com/>
<http://fundacionazara.org.ar/>
<http://www.lillo.org.ar/>
<http://proyungas.org.ar/>
<http://www.earth-policy.org/>
<http://www.antarcticglaciers.org/>

un planeta

<http://git-forestry.com/menu.htm>
http://www.ora.gov.ar/riesgo_zonas.php
<http://permaculturenews.org/>
<http://www.globallandrepair.com.au/>
<http://www.salmonchile.cl/es/index.php>
<http://www.who.int/es/>
<http://www.paho.org/hq/>
<http://info.fsc.org/>
<http://www.msc.org/>
<http://www.rainforest-alliance.org/es>
<http://waterfootprint.org/en/>
<http://www.cimmyt.org/es/>
<http://www.ifaw.org/>
<http://cisan.org.ar/>
<http://www.rap-al.org/>
<http://earthenginepartners.appspot.com/>
<http://www.responsiblesoy.org/en/>
<http://www.aapresid.org.ar/ac/>
<http://www.nongmoproject.org/>
<http://www.ewg.org/meateatersguide/>
<http://www.slowfood.com/>
<http://www.agriculturaconsciente.com/>
<http://www.fcagr.unr.edu.ar/agromensajes.htm>
<http://www.globalforestwatch.org/>
<https://www.fieldtomarket.org/>

CIUDADES

<http://www.gapminder.org/world>
<http://apuntessedemografia.com/>
<http://espanol.mapsofworld.com/>

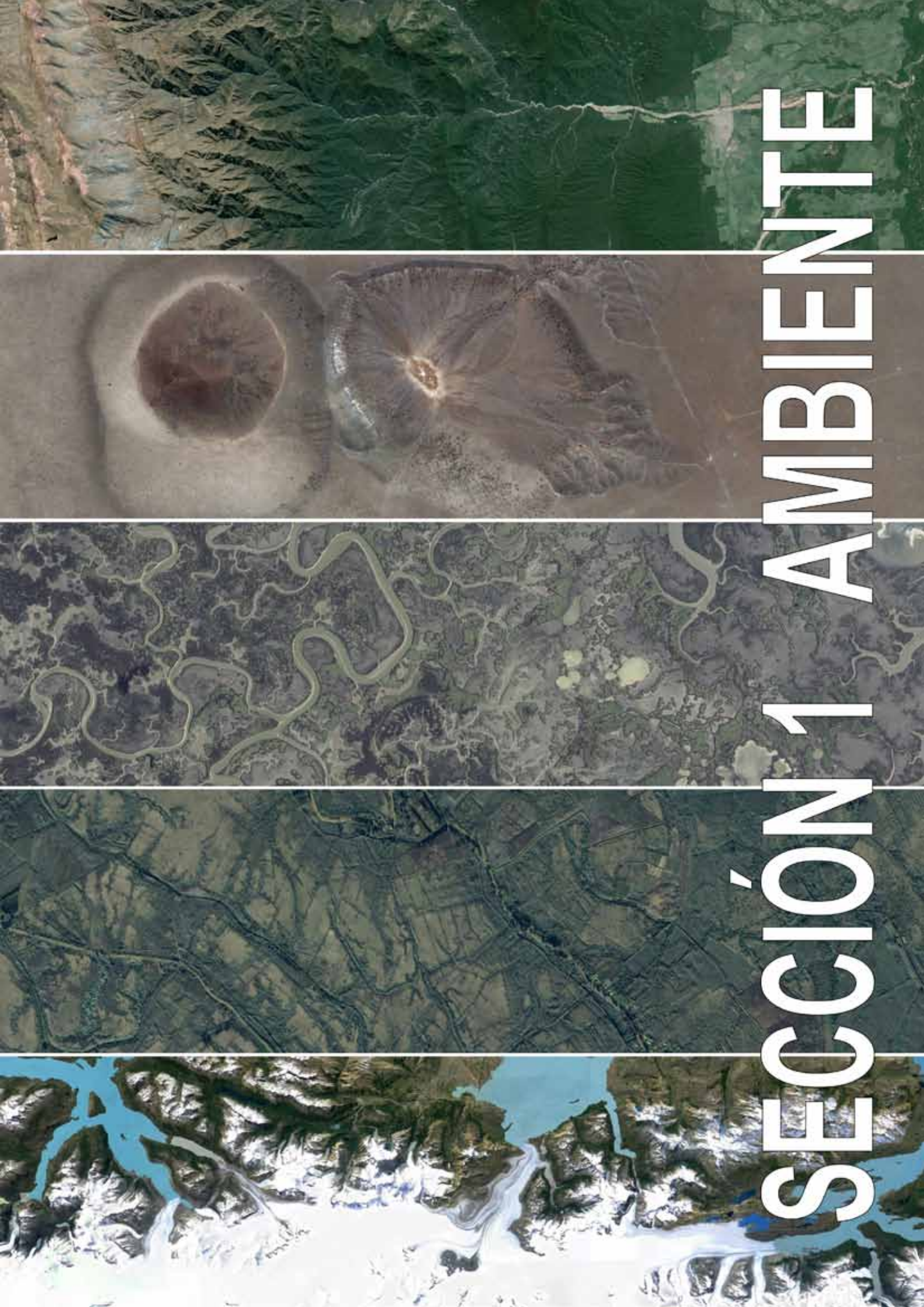
<http://www.yesmagazine.org/>
<http://www.worldbank.org/>
<http://www.samaribrahim.com/infographics.html>
<http://www.epa.gov/>
<http://www.grida.no/>
<http://www.pcworld.com.mx/switch/pcw>
<http://ares.lids.mit.edu/fm/>
<https://www.voltech.com.mx/focos.php>
<http://www.acumar.gob.ar/>
<http://www.unfpa.org/es>
<http://www.morethangreen.es/>
<http://www.greenroofargentina.com/>
<http://earthtechling.com/>
<http://futuristicnews.com/category/future-trends/>
<http://ecoexpoonline.com/>
<http://hdr.undp.org/es>
<http://www.prb.org/Publications.aspx>
<http://ovacen.com/principal/>
<https://www.oxfam.org.au/>
<http://www.usgbc.org/articles/grid>
<http://plea-arch.org/>
<http://www.sustainablecity.be/>
<http://www.usgbc.org/leed>
<http://www.cagbc.org/>
<http://www.iram.org.ar/>
<http://airnow.gov/>
<http://www.no-burn.org/>
<http://www.rtcc.org/transport>
<http://www.esa.int/ESA>
<http://www.clubofrome.org/>

ÍNDICE

Prólogo	7
Agradecimientos	9
El contenido	11
Fuentes de información	15
Sección 1: Ambiente	21
111. La oferta del planeta y la demanda humana.....	23
112. El calentamiento global (i): la liberación del carbono.....	25
113. El calentamiento global (ii): el efecto invernadero.....	28
114. El calentamiento global (iii): la incertidumbre del futuro.....	33
121. El cambio climático (i): las lluvias a largo plazo.....	39
122. El cambio climático (ii): el aumento del nivel del mar.....	42
123. El cambio climático (iii): las corrientes oceánicas.....	46
124. Hielos y glaciares (i): el hemisferio norte.....	49
125. Hielos y glaciares (ii): el hemisferio sur.....	54
131. El agua (i): humedales, lagos y ríos.....	58
132. El agua (ii): los mares y océanos.....	64
133. La atmósfera: capa de ozono y lluvia ácida.....	69
134. La vida bajo presión.....	74
135. Ética y derecho de los seres vivos.....	80
141. ¿Qué hacer? (i): los acuerdos internacionales.....	87
142. ¿Qué hacer? (ii): las organizaciones ecologistas.....	89
143. ¿Qué hacer? (iii): conservación de ecosistemas y turismo responsable.....	95
144. ¿Qué hacer? (iv): una ciencia económica renovada.....	102
145. ¿Qué hacer? (v): cambios de conducta y ética.....	105
Sección 2: Energía	111
211. El abanico de las “fuentes” de energía.....	113
212. Comparación de las fuentes de energía.....	116
213. Las redes inteligentes de transporte de energía eléctrica.....	120
214. El almacenamiento de la energía eléctrica.....	123
221. El petróleo y la industria asociada.....	128
222. Las explotaciones en alta mar (offshore).....	134
223. El gas, el más limpio de los combustibles fósiles.....	138
224. La esperanza en las reservas no-convencionales.....	142
225. Los combustibles de origen vegetal.....	147
226. La minería (i): el carbón para energía eléctrica.....	150
227. La minería (ii): la megaminería a cielo abierto.....	154
228. La energía nuclear: limpia pero peligrosa.....	159
231. La energía eléctrica obtenida desde el agua.....	167
232. La energía eléctrica solar fotovoltaica.....	171
233. La energía solar térmica: calor y electricidad.....	175
234. La energía eléctrica obtenida del viento.....	178
235. La energía geotérmica: calor y electricidad.....	183
Sección 3: Alimentos	185
311. La fábrica rural para consumo urbano.....	187
312. Biotecnología (i): una variedad apabullante de transgénicos.....	193
313. Biotecnología (ii): los argumentos de las partes.....	197
314. Los agroquímicos (i): ¿fitosanitarios o agrotóxicos?.....	202
315. Los agroquímicos (ii): los fertilizantes.....	207

un planeta

316. Buenas prácticas para una agricultura sustentable	211
317. Algunas variantes de agricultura sustentable	220
321. La ganadería (i): producción bovina intensiva.....	224
322. La ganadería (ii): otros tipos de proteína animal	228
323. La ganadería (iii): ¿sustentabilidad o abolición?.....	232
324. La pesca (i): la desertificación de los mares	236
325. La pesca (ii): protección, sustentabilidad y acuicultura.....	240
331. El agua (i): disponibilidad y consumo en agricultura	246
332. El agua (ii): el riego en la agricultura	249
333. El suelo: más que carbono, agua y sal.....	253
334. Los bosques (i): pérdidas y fragmentación.....	258
335. Los bosques (ii): la producción y conservación	262
336. Los bosques (iii): nativos versus exóticos	266
Sección 4: Ciudades	271
411. Más habitantes en menos espacio	273
412. Ciudades y arquitectura sustentables.....	277
413. Hoja de ruta de la movilidad y transporte.....	283
414. El arcoíris de la contaminación urbana.....	288
415. El ciclo cerrado del consumo y los desechos.....	296



SECCIÓN 1 AMBIENTE

*Fotografías satelitales de Google Earth (<https://earth.google.com/>). Desde arriba hacia abajo.
Parque Nacional Calilegua (Jujuy) desde la región andina (izquierda) hacia la chaqueña (derecha).
Dos cráteres volcánicos (derecha) al norte de La Payunia en Mendoza.
Zona costera inundable de la Península de Samborombón en Gral. Lavalle (provincia Buenos Aires).
Zona interior del delta del Río Paraná en la provincia de Buenos Aires.
Límite de los campos de glaciares entre Chile (abajo) y Santa Cruz (arriba).*

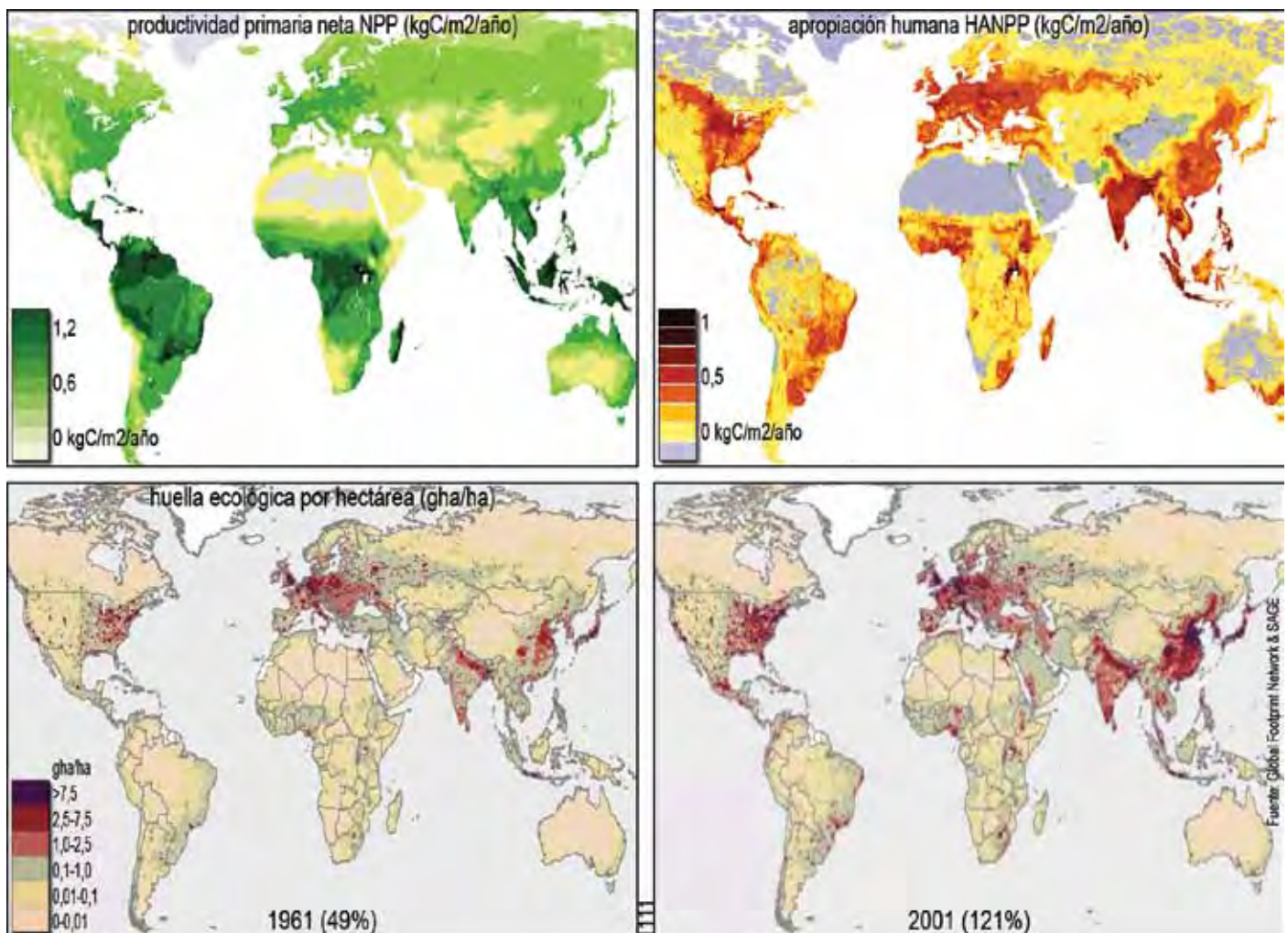
La oferta del planeta y la demanda humana

La Huella Ecológica. Este indicador pone en evidencia la demanda que se ejerce sobre el planeta debido al régimen de consumo. Corresponde a cada sociedad en su tiempo, lugar y costumbres. La unidad de medida es la hectárea global (gha) por habitante (gha/hab) y se entiende como la cantidad de hectáreas de distinto tipo que se necesitan para satisfacer la demanda de un habitante. Toma en cuenta los terrenos forestales (madera); la tierra laborable (agricultura y ganadería); el espacio para urbanizaciones y el agua (ríos, riego y zonas pesqueras en el mar). Considera todo el espacio necesario para generar los recursos (alimentos, energía, minería) y reciclar los residuos (humedales).

Un desglose de la huella ecológica personal promedio indica que la mayoría se consume en vivienda (25%); alimentación (25%) y mo-

vilidad (15%). La vivienda es un gran consumidor de energía debido a la climatización y el uso de materiales contaminantes y poco sostenibles. Para reducir esta huella se deben tomar en cuenta las técnicas de arquitectura sustentable y las energías renovables. Con la alimentación el problema radica en lo que se come, de donde procede y lo que se tira.

La biocapacidad. La contracara de la demanda es la oferta de materiales biológicos y la absorción de residuos. La huella ecológica y la biocapacidad participan del "metabolismo social", donde se consume materia y energía del ambiente y se expulsan residuos, con un aumento de la entropía (en la termodinámica es una energía no utilizable). La biocapacidad natural del planeta se incrementa por las

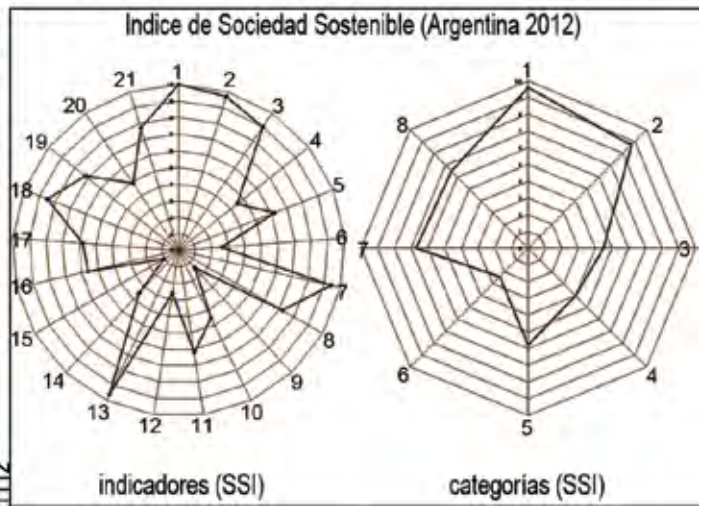
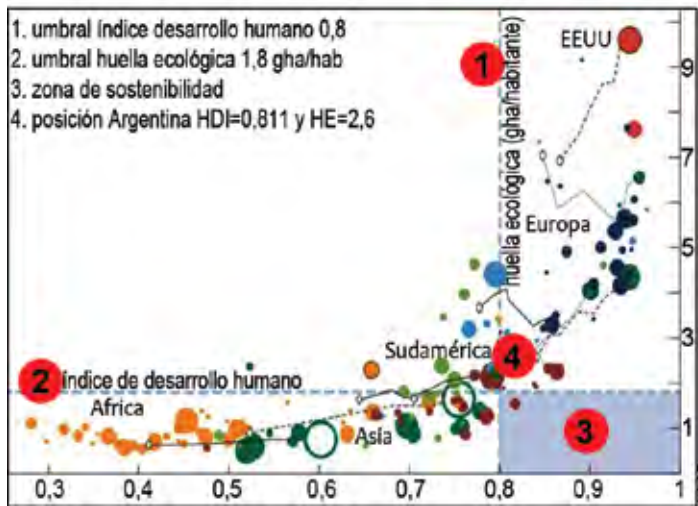
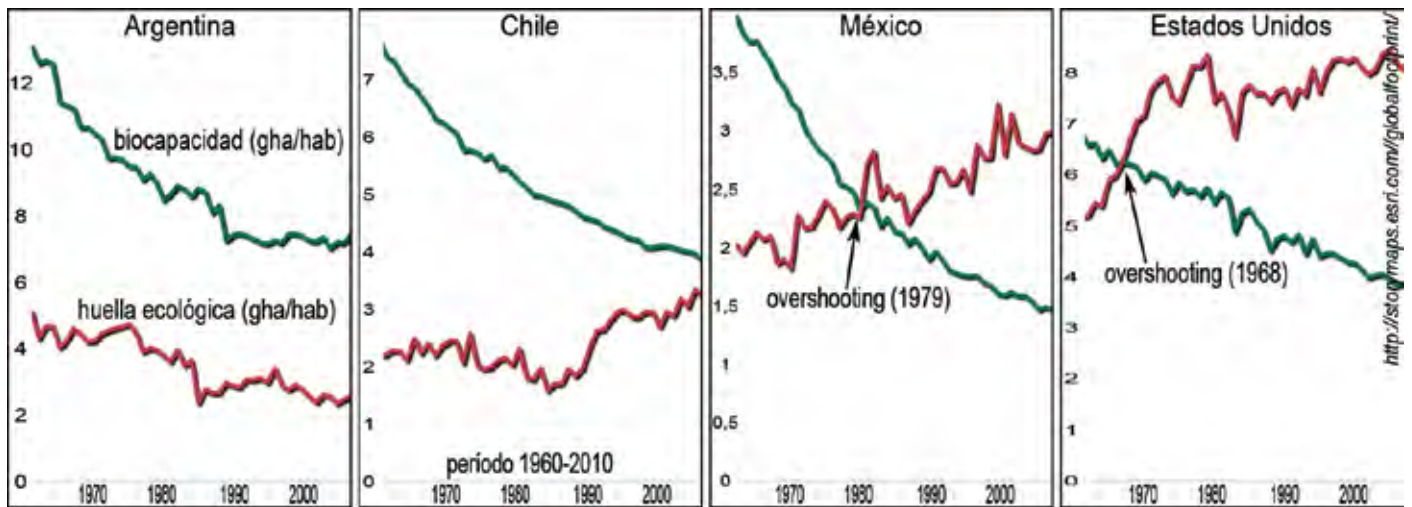


111. La bioproductividad y la huella ecológica. La biocapacidad del planeta es la productividad biológica primaria neta NPP (arriba-izquierda). Es el producto de la bioproductividad por el área bajo estudio. Lo que consume el hombre de la biocapacidad se llama apropiación humana HANPP (derecha). Hay regiones con alta productividad y apropiación baja (región amazónica) y otras con apropiación igual a la productividad (la región pampeana con 0,6 kgC/m²/año). En el 2010 el 25% de la NPP fue apropiada por el hombre y se restó a la vida silvestre. La India llega al 63%; Europa Oriental al 52% y Sudamérica a 11-16%. Un caso especial son las zonas azules donde la productividad natural es casi nula y todo se logra en base a productividad humana. La huella ecológica muestra los requerimientos humanos sobre la biocapacidad del planeta (abajo). La unidad de medida es la cantidad de hectáreas globales (gha) que se requieren para satisfacer el consumo en cada hectárea de la región. En 1961 (izquierda) se requerían 0,49 planetas para satisfacer el consumo de la humanidad (49%). En el 2001 (derecha) aumentó a 1,21 planetas y en el 2014 superó el valor de 1,5 planetas (150%). Un consumo superior a la productividad se puede mantener durante un tiempo por la explotación de recursos naturales no renovables. Por ejemplo, los combustibles fósiles llevaron 400 millones de años en producirse y se están consumiendo en 400 años; un millón de veces más rápido de lo que llevó la producción.

mejoras en las técnicas de producción, pero disminuye debido a la pérdida de superficie útil (desertificación y sobreexplotación) y el consumo de materiales no renovables (petróleo y minerales). Cuando la huella ecológica supera la capacidad regenerativa de la biosfera, se produce una situación de pérdida neta (*overshooting*), que es insustentable a largo plazo.

Desde hace varias décadas, ésta es la condición a nivel global, donde el consumo de capital natural es más rápido que la regeneración. Por ejemplo, todos los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) se crearon durante unos 400 Ma (millones de años) y se están consumiendo en algunas pocas centurias. La producción de combustibles fósiles es un millón de veces más lenta que el consumo. En 1961 la biocapacidad global era de 3,2 gha/hab y se consumía

solo el 49% de lo que producía el planeta. En otras palabras, se requería 49% del planeta Tierra para satisfacer a toda la humanidad. El overshooting global se produjo en los años '80. Desde 1961 al 2001 la demanda sobre el planeta se multiplicó por 2,5 veces. Así, en el 2001 se necesitaban 1,21 planetas para satisfacer a la humanidad (el consumo era del 121%). Para el 2010 la biocapacidad era de 1,8 gha/hab; valor que surgió de dividir los 12 Mha (millones de hectáreas) biológicamente productivas en la tierra y agua, por la población global de 6,7 millones de habitantes. Como la huella ecológica se calculó en 2,7 gha/hab, el consumo llegaba al 150%. La Argentina mostraba una biocapacidad de 7,5 gha/hab (2,5% de la biocapacidad total del planeta y el noveno país del planeta), mientras que la huella ecológica era de 2,6 gha/hab (31% en cultivos y 29% en bosques).



1112. La falta de sustentabilidad. La relación entre la biocapacidad y la huella ecológica indica la deuda ecológica de cada país (arriba). Por ejemplo, en Estados Unidos la biocapacidad (verde) fue superada por la huella ecológica (rojo) en 1968. Es el overshooting o translimitación. El consumo se mantiene por sobreexplotación de recursos naturales y la importación. En todos los países la biocapacidad se reduce por pérdida de espacios naturales y aumento de la huella ecológica. En pocas excepciones se mantiene constante (Noruega) y en la amplia mayoría la huella ecológica aumenta por mejora de la calidad de vida. En algunos pocos países la tendencia es estable o en reducción (Argentina), lo que se asocia a un estancamiento económico o una elevada conciencia ambiental. La huella ecológica en función del índice de desarrollo humano (abajo-izquierda) muestra que los países subdesarrollados tienen índice menor a 0,8 y los desarrollados una huella mayor a 1,8 gha/hab. Casi ninguno se encuentra en la zona de sustentabilidad (3). Para una mejor caracterización de cada país se definió el Índice de Sociedad Sustentabilidad SSI (derecha) que califica de 0-10 a 21 indicadores y 8 categorías. El diagrama y datos son para la Argentina (año 2012). Los indicadores son: suficiente comida (10); suficiente para beber (9,7); saneamiento seguro (9); vida saludable (4,5); oportunidades de educación (6,2); igualdad de género en educación (2,6); nivel de educación (9,4); igualdad de género en ingresos (7,2); distribución del ingreso (1,4); buen gobierno (4,5); calidad del aire (6,2); biodiversidad (2,6); recursos hídricos renovables (9,6); consumo (3,5); energías renovables (1); gases efecto invernadero (5,6); agricultura orgánica (5,8); ahorro genuino (8,5); PBI (7,2); empleo (4,9) y deuda pública (7,7). Las categorías que se definen son: necesidades básicas (9,6); salud (8,7); desarrollo personal y social (4,5); naturaleza y ambiente (4); recursos naturales (5,8); energía y clima (2,4); transición (6,7) y economía (6,5).

Los mayores consumidores. Los desbalances entre países son notables. Para garantizar el nivel de calidad de vida europeo a toda la humanidad se necesitarían cerca de 5 planetas Tierra. Con el modo de vida de Norteamérica la Tierra puede mantener a 1.000 millones de habitantes y con el modo de vida de África se llegaría a 23.000 millones. En 1679, se calculó que la Tierra albergaba 13.385 veces la superficie de Holanda. Como la población era de 1 millón de holandeses, se llegó a una cifra de soporte de 13.400 millones de personas (con el modo de vida de la Holanda del siglo XVII). En 1997 se evaluó cuáles eran los servicios ecológicos que generaba la naturaleza. Se dividió el planeta en 16 biomas (sin los desiertos y tundras) y se analizaron 17 bienes y servicios. El resultado dio que la naturaleza producía bienes y servicios por 17 a 58 billones de dólares (10^{12}); equivalente a 3.000 y 9.700 us\$/habitante. Ese año la Argentina produjo un PBI de 8.200 us\$/hab. Este tipo de asignación monetaria a un bien único e irremplazable tiene muchos defectos, pero permite un punto de comparación con la productividad humana ("peor que una mala evaluación es no tener ninguna").

Índice de Desarrollo Humano (HDI). Este índice es publicado por el UNDP (*United Nations Development Programme*). Combina la calidad de vida y el grado de longevidad de las personas; la tasa de alfabetización y lo que produce el país (PBI). El resultado es un número que varía entre 0 y 1. En el año 2013 el país con mayor índice era Noruega (0,955) y el último era el Congo (0,304) en el puesto 187. La Argentina se encontraba en el puesto 45 (índice 0,811). Se definió un umbral hipotético de HDI en 0,8 para destacar el elevado

desarrollo humano de un país, lo que pone a la Argentina levemente por encima del umbral.

Cuando se combina la huella ecológica con el HDI, se obtiene una imagen interesante sobre la evolución en la calidad de vida y el consumo. Al umbral de $HDI > 0,8$ (buena calidad de vida), se le agrega una huella ecológica inferior a 1,8 (consumo responsable). La zona interior se entiende como de "desarrollo sustentable". Casi ningún país se encuentra en dicha zona. Los países pobres tienen baja huella y desarrollo y los países ricos tienen alto desarrollo y huella. El movimiento sigue una curva que apenas alcanza la zona de desarrollo sustentable. Los países de Sudamérica se encuentran cerca del vértice debido a la tendencia de movimiento, más que a una particular conciencia del problema.

Considerando los indicadores que señalan un incremento de calidad de vida de la sociedad y las pérdidas en la biocapacidad, se llega a un "desacople momentáneo" entre la naturaleza y lo humano. Una forma para poner en evidencia este estado transitorio es considerar otras formas de medir una "calidad de vida" sustentable.

El índice SSI (*Sustainable Society Index*) es un indicador del nivel de sustentabilidad que tiene cada país (www.ssfindex.com). Existe desde 2006 y se obtiene calificando a cada país mediante 21 indicadores y 8 categorías, mediante un puntaje de 1 a 10. El Índice General de Sustentabilidad de la Argentina en 2012 era de 5,6 (el mismo que Uruguay y los mejores de Sudamérica). El máximo es Suiza (7,4) y el mínimo es Yemen (3).

El calentamiento global (i): la liberación del carbono

En un estudio se analizó como se transfieren 77 elementos químicos entre suelo, rocas, agua y atmósfera. Es lo que se llama ciclo de los elementos. Hay razones naturales (erupciones, erosión y la vida) y humanas (minería, construcción y agricultura). De los 77 elementos, 62 ciclos están intervenidos por las acciones humanas. Este y otros argumentos, llevó a proponer un nuevo período geológico: el Antropoceno. En muchos casos esos elementos no son el objetivo, pero son parte de los movimientos de sedimentos y rocas que se hace para la minería y construcción (35 Gt/año).

El Ciclo de Carbono. Se denomina así a todas las transformaciones químicas de compuestos de carbono que se producen en la biósfera (seres vivos), atmósfera (aire), hidrósfera (agua) y litósfera (rocas profundas). Es de máxima importancia para la supervivencia, ya que incluye la producción de materia orgánica (la vida). Además, interactúa con otros ciclos de importancia: ciclo del agua, nitrógeno y fósforo. El ciclo del crecimiento y descomposición vegetal puede servir de ejemplo. El carbono en la atmósfera interviene en la fotosíntesis de las plantas como CO_2 (dióxido de carbono) o H_2CO_3 (ácido carbónico). La fotosíntesis forma la glucosa ($C_6H_{12}O_6$) que es un carbohidrato (azúcar) básico en la respiración y alimentación de las plantas. De la glucosa se derivan los demás componentes vegetales. El retorno del CO_2 a la atmósfera se realiza mediante la respiración de las plantas (por oxidación con O_2) o por acción de los organismos del suelo y los animales. A nivel global, en el hem ciclo atmósfera-a-biósfera se absorben por fotosíntesis 120 GtC/año (GigaTonelada de Carbono al año). En paralelo, se liberan por respiración 60 GtC/año, con lo que se "fijan" 60 GtC/

año en la madera. Cuando las plantas mueren pasan a formar parte del suelo y se descomponen mediante digestión de microorganismos liberando 60 GtC/año de carbono. El balance queda neutralizado en un equilibrio natural. En los océanos hay otro equilibrio similar. Pero,...

Liberación de carbono. La intervención humana produce un desbalance del ciclo ya que se suman la industria, agricultura y transporte. Por ejemplo, en el año 2011 cerca de 9 GtC provenientes del uso de combustibles fósiles pasaron a la atmósfera. Antes, este carbono estaba firmemente guardado bajo tierra. De las 9 GtC, unas 4 GtC quedaron en la atmósfera, 3 GtC llegaron al suelo y 2 GtC fueron al fondo de los océanos. El aumento de carbono en la atmósfera potencia los gases de efecto invernadero GEI, lo que favorece el calentamiento global. Visto de esta forma, se trata de un desbalance en busca de un nuevo punto de equilibrio que evoluciona año tras año al alza.

El 2014 fue un año donde la economía mundial creció (PBI +3%) pero las emisiones de carbono se mantuvieron iguales al año anterior (cerca de 10 GtC). Es un avance pequeño logrado en base a dos componentes: el reemplazo parcial del carbón por gas en la generación eléctrica (en gran parte debido al fracking en Estados Unidos) y el despliegue de energías renovables (principalmente en China). En el 2009 las emisiones fueron inferiores al 2008 pero la causa fue la crisis internacional con caída del PBI del 2,5%. Para revertir la tendencia de calentamiento global se requiere reducir las emisiones, aunque el hecho de estancarlas por un año puede ser una señal de esperanza.

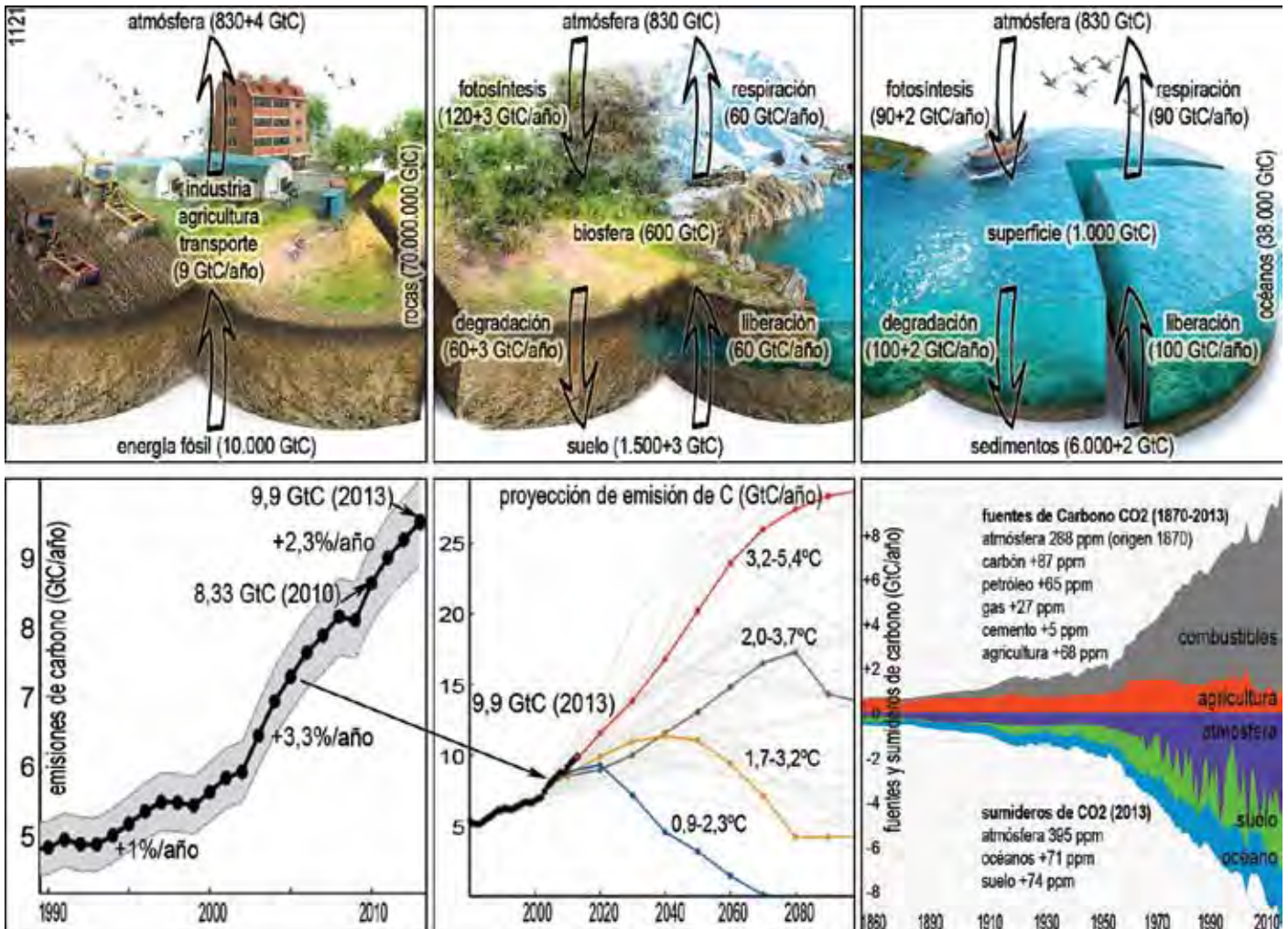
un planeta

Una idea de magnitudes. La liberación anual de 10 GtC (10^{10} tC), con una densidad del carbono de 2,26 tC/m³, corresponde a $8,6 \times 10^9$ m³. Es decir, un cubo de 2 km de lado de carbono puro que se libera en la atmósfera al año. Si en lugar de carbono puro consideramos el gas CO₂ equivalente, la densidad es 50 veces menor y el cubo equivalente es de 7 km de lado.

Almacenes de carbono. Hay 5 grandes reservorios de carbono con intercambios lentos: aire, océanos, suelo (pedosfera), seres vivos (biósfera) y reservas fósiles (carbón, petróleo y gas). Además, están las rocas profundas, solo accesibles a escala geológica por la tectónica de placas y el vulcanismo. El suelo superficial contiene más carbono que la biósfera y la atmósfera combinadas. Se comprobó que los responsables de la rápida absorción de carbono en el suelo son los hongos en simbiosis con las raíces de las plantas. Sin embargo, la complejidad de la interacción, no permite predecir aún el resultado final: si el calentamiento global hará que el suelo sea un sumidero (debido a la absorción de los vegetales) o una fuente de carbono (por descomposición de la materia vegetal por microorganismos).

La reserva fundamental de carbono está en la hidrósfera (cerca de 42.000 GtC). En la atmósfera la concentración de CO₂ es muy baja (0,04%, 400 ppm) pero resulta fundamental. Los océanos absorben 2 GtC/año, lo cual retira de la atmósfera una parte de la carga del CO₂, pero solo es una transferencia del problema. Los océanos se vuelven más ácidos y el desbalance afectará a los diferentes ambientes. Siempre hay ganadores y perdedores, pero con un cambio rápido serán mayoría los perdedores. Desde 1750, cuando la concentración de CO₂ era de 300 ppm, se emitieron 500 GtC, así que si se quiere retrotraer la atmósfera a aquella época no solo hay que disminuir la emisión sino que hay que retirar carbono.

La Argentina (Informe IPCC-2006) tuvo una emisión neta de 23 MtC/año (megatoneladas de carbono). La emisión fue de 40 y la absorción de 18 MtC/año. En particular, las ciudades liberaron 4,6; la actividad industrial 22 y la agroindustria 5,4 MtC/año. El Mar Argentino produjo una emisión de 1,4 y una captura de 6 MtC/año, convirtiéndose en un área oceánica de gran absorción por acción del plancton.



1121. El Carbono en la atmósfera. El ciclo del carbono (arriba) incluye los procesos naturales y el aporte humano. Por ejemplo, desde la atmósfera (son 830 GtC y aumenta 4 GtC/año) se fijan en madera 120 GtC/año (la biosfera tiene 600 GtC acumuladas). Este valor aumenta 3 GtC/año por quema de combustibles fósiles. De este valor, 60 GtC/año vuelven a la atmósfera por respiración y otras 60 (+3) GtC/año pasan al suelo por descomposición de la materia viva. En el suelo se acumulan 1.500 GtC. La quema de combustibles fósiles aumenta el ciclo de carbono en 9 GtC/año (año 2011) de los cuales 4 quedan en la atmósfera, 3 llegan al suelo y 2 pasan a los sedimentos oceánicos. Año tras año las emisiones de carbono de origen antropogénico se incrementan (abajo-izquierda). Lo acumulado entre 1751-2012 es de 384 GtC, donde Estados Unidos aportó el 26% y Sudamérica el 3,9%. A futuro, las proyecciones (centro) se estiman mediante escenarios distintos. Las tendencias muestran el incremento de temperatura y carbono. La distribución de las fuentes y sumideros de carbono desde 1860 (derecha) muestra el crecimiento de combustibles fósiles y la acumulación en la atmósfera, los océanos y el suelo. El suelo y la atmósfera tienen una interacción (fluctuaciones) acentuadas.

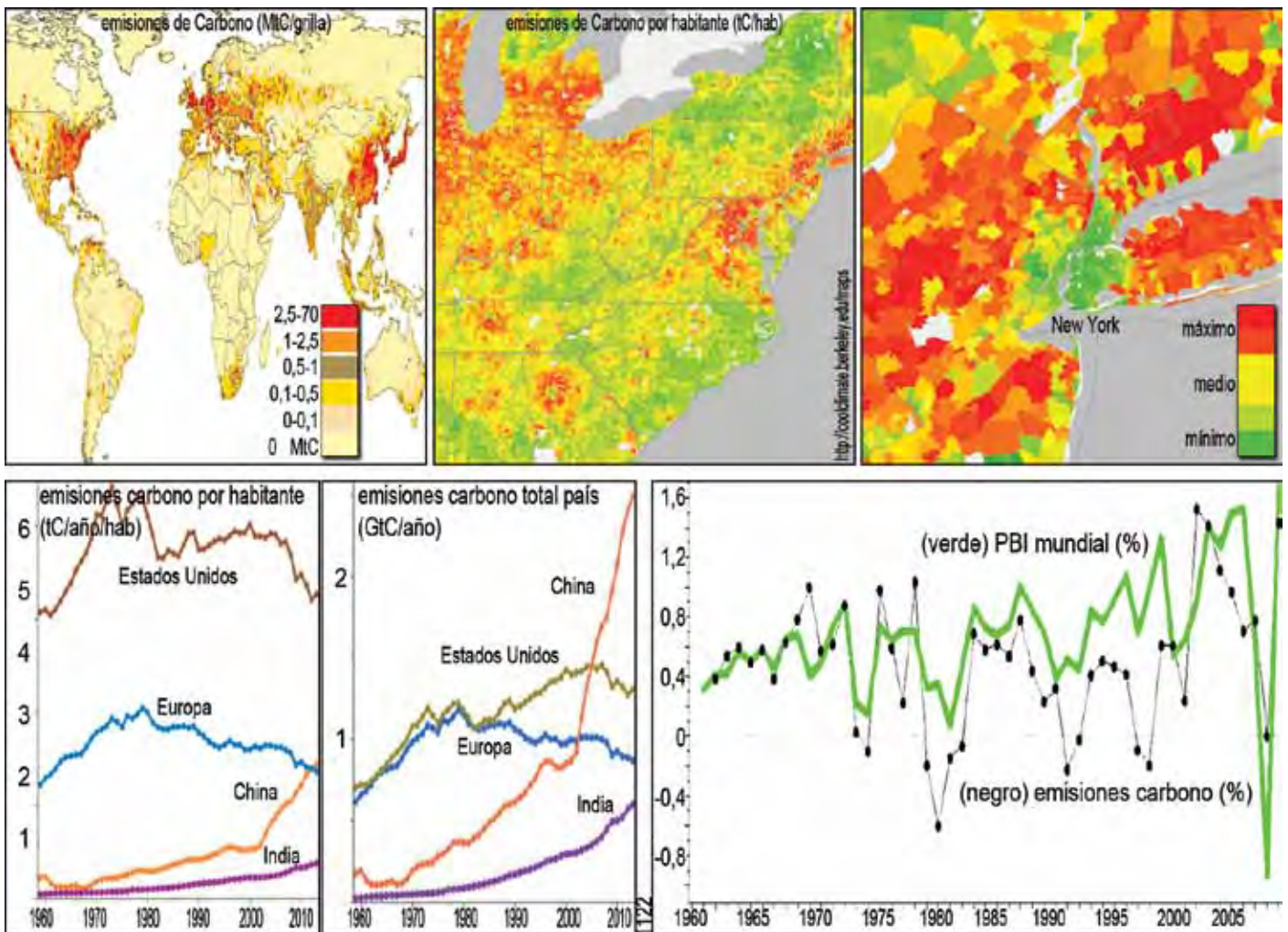
La Huella de Carbono. Es una evaluación numérica de la emisión de gases GEI producidos por una actividad. La unidad de medida es kgCO_2eq (kilogramos de GEI equivalentes en CO_2). El cálculo sigue principios y normas internacionales (como ISO-14064) y las herramientas de cálculo están disponibles en Internet desde el 2007. Se llama huella primaria a las emisiones directas de CO_2 sobre las que se tiene control directo. Normalmente proceden del combustible usado en el hogar y el transporte. La huella secundaria considera las emisiones indirectas de todo el ciclo de vida de los productos utilizados (alimentos o tecnología), incluyendo la manufactura y eventual descarte.

Todas las actividades pueden ser evaluadas mediante la huella de carbono. Por ejemplo, en Internet una búsqueda mediante Google varía entre 2 y 7 gramos de CO_2 . Un rango amplio que depende del computador, el tipo de acceso, el sitio web de destino, etc. Google en el 2010 generó una huella total de 1,46 Mt que equivale a producir carne mediante 150.000 vacas. Lo hecho por Google para reducir su impacto ambiental puede verse en Google Green y muestra las inversiones en energía renovable para compensar su huella de carbono.

El consumo de energía de Internet equivale al 2% del consumo global del planeta. Pero un balance amplio de Internet debería incluir los beneficios: el teletrabajo (ahorro de tiempo y energía en movilidad); reducción de espacio de almacenamiento de productos (sistema "just in time"); consumo de energía distribuido (posibilidad de generar la energía que se consume); reducción del uso de papel e insumos; etc. En el otro lado de balanza, además del consumo de energía en servidores y sitios web, se encuentra la obsolescencia programada, de forma que obliga a una renovación de hardware y software antes que los equipos fallen por vejez, lo que sería en decenas de años.

El caso: "...un árbol..." Una frase del poeta cubano José Martí menciona el plantar un árbol como algo importante para hacer en vida. ¿Puede ser la solución para convertirse en "carbono neutral" (absorber el CO_2 que se emite)? ¿Cuántos árboles se necesitan para compensar la huella de carbono de un habitante promedio? La respuesta en los próximos 3 pasos:

(1) La captura de carbono ocurre durante el crecimiento de los ár-



1122. Dónde se emite el carbono. Las emisiones de carbono no son uniformes y se concentran en áreas industriales y grandes ciudades (arriba-izquierda). Las emisiones de carbono por habitante en Estados Unidos (centro) para distintas áreas (zonificación de código postal) muestran que las zonas centrales de las ciudades (verde) tienen menos emisiones que las periféricas (rojo). Por ejemplo, en la ciudad de New York (derecha) el área central tiene mayor eficiencia en el consumo debido a la concentración de servicios. La evolución desde 1960 de las emisiones de carbono entre diferentes países es dispar, medido en forma total y por habitante (abajo-izquierda). Muestra que en algunos países están en reducción; que Estados Unidos es el mayor emisor por habitante y China el mayor emisor total. Existe una correlación directa entre la variación del PBI global con las emisiones de carbono (derecha). El año 2014 fue el primero donde un incremento del PBI no correspondió con un aumento de emisiones de carbono (el valor del 2013 y 2014 fue de 9,9 GtC). Esto se debió a los programas de reemplazo de carbón por gas natural en la generación eléctrica y la implementación de energías renovables.

boles y se libera cuando mueren. Cerca del 45% de la biomasa de un árbol (materia seca) es carbono y el 30% está en las raíces. En las plantas hay 2 procesos opuestos, la fotosíntesis y la respiración. La fotosíntesis se realiza en los cloroplastos donde se absorbe CO_2 del aire y se libera oxígeno. Se requiere el aporte de agua (desde las raíces) y luz solar (solo de día) y a cambio se entregan azúcares. La respiración, en cambio, se realiza en las mitocondrias donde se absorbe oxígeno y se libera CO_2 al ambiente (este proceso ocurre de día y noche), de esta forma la planta obtiene energía. En este balance una parte de carbono se deposita en la madera. En promedio, una tonelada de madera equivale a 1,6 t CO_2 atmosférico o 0,45 tC neto acumulado.

(2) El período en el cual el bosque alcanza su madurez varía de acuerdo con el tipo de árbol, suelo, topografía y prácticas de manejo en el bosque (silvicultura). En las plantas nativas podrían ser 100 años. En una hectárea hay 400 árboles con separación de 5 metros. Cada árbol en 100 años puede capturar 300 kg de carbono (700 kg de madera). Lo que da una captura promedio de 120 t/ha en 100 años. Se absorben cerca de 1 tC/ha/año (tonelada de carbono por hectárea al año).

(3) En el 2011 se emitieron 9 GtC por actividades humanas, con 7.000 millones de habitantes (7 Ghab). Lo cual da una emisión promedio de 1,3 tC/año/hab. Entonces, sería necesaria una plantación de 1 ha/hab (árboles en desarrollo en regiones de forestación nueva) para compensar las emisiones de carbono. En realidad, debería ser mayor si se incluyen las pérdidas de árboles debido a incendios o enfermedades. La Tierra tiene una superficie continental de 15.000 millones de hectáreas (15 Gha); es decir, hay 2 ha/hab. Descontadas las áreas no forestales (desiertos, hielos, zonas urbanas) posiblemente no alcanza todo el planeta para plantar árboles y compensar la emisión de carbono. Podría mejorarse esta relación plantando árboles de alta absorción (mayor velocidad de crecimiento). Según estándares sobre la cantidad de CO_2 que una especie de árbol es capaz de absorber, el mejor rendimiento en nuestro territorio es del *Eucalyptus* que captura 8 tC/ha/año.

Incertidumbre. Los valores anteriores tienen una dispersión muy alta (región, clima, especie de árbol) y el uso de árboles transgénicos podría reducir el tiempo a un fracción. En el 2014 se publicó un estudio

realizado sobre 673.000 árboles de 403 especies en todos los continentes. Se verificó que los árboles grandes y viejos aceleran la absorción de carbono. Este estudio se inició en 1980 en Panamá en ejemplares con tronco de más de 1 cm de diámetro. El proyecto ForestGEO tiene 52 parcelas en 22 países y 80 instituciones asociadas. Contienen 8.500 especies y 4,5 millones de árboles. El estudio encontró que en promedio un árbol de 100 cm de diámetro acumula 103 kg/año de masa seca; siendo 3 veces la acumulación que muestran los árboles con la mitad de diámetro. Los árboles viejos y grandes son el 6% en número, pero producen el 33% de la masa forestal anual.

En otro estudio de 20 años de duración, se comprobó el incremento de absorción por fotosíntesis en las plantas de humedales cuando aumenta la concentración de CO_2 atmosférico. Se midió hasta 32% más de fijación con un incremento desde 400 a 700 ppm de CO_2 en la atmósfera. En un estudio diferente de 6 años se estableció que el incremento de actividad en los bosques, además de producir más vegetación, aumenta la cantidad de microorganismos en el suelo y eleva la liberación de carbono superficial. Como se observa, la predicción indica una mayor actividad en todas las líneas de fijación y liberación de carbono, con una incertidumbre en el balance para el ciclo de carbono. Lo único seguro es que el carbono en la atmósfera aumenta por el consumo de combustibles fósiles.

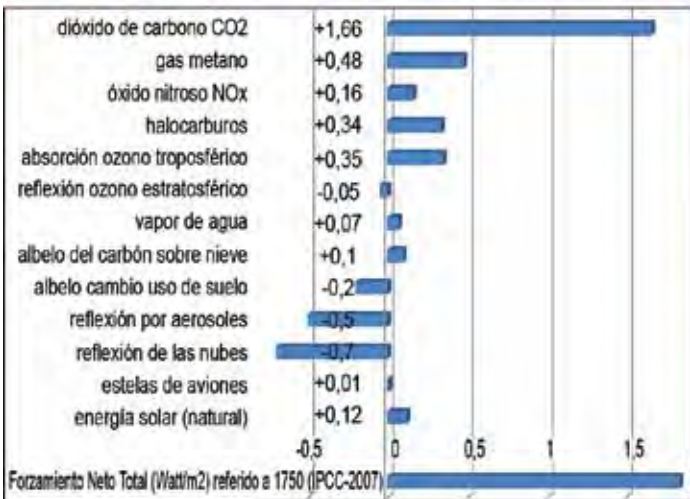
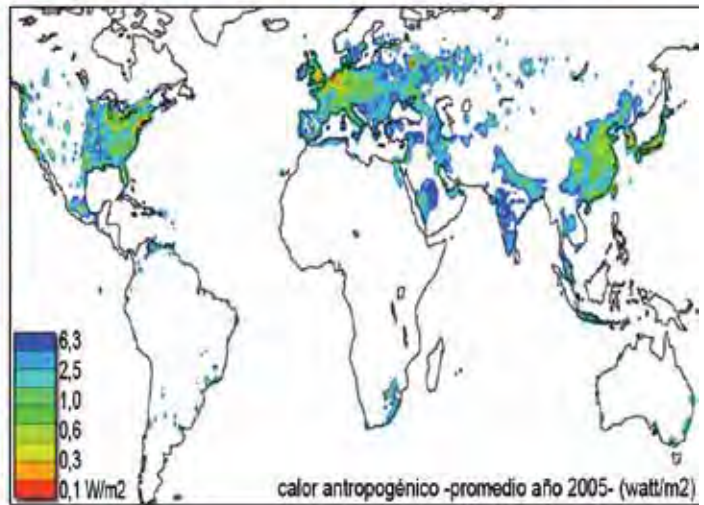
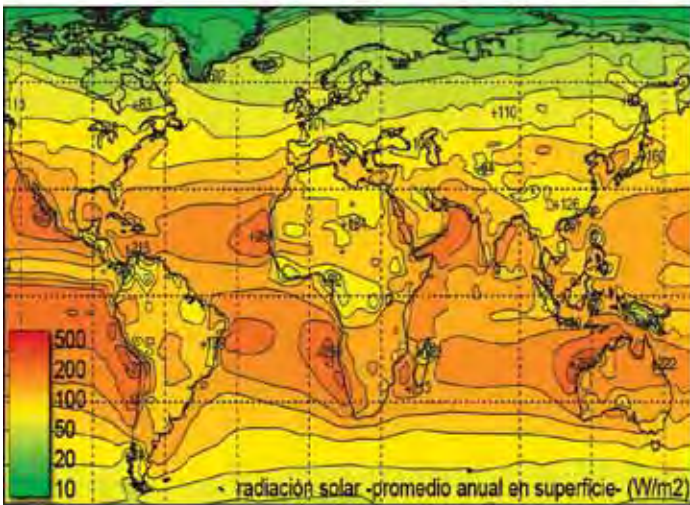
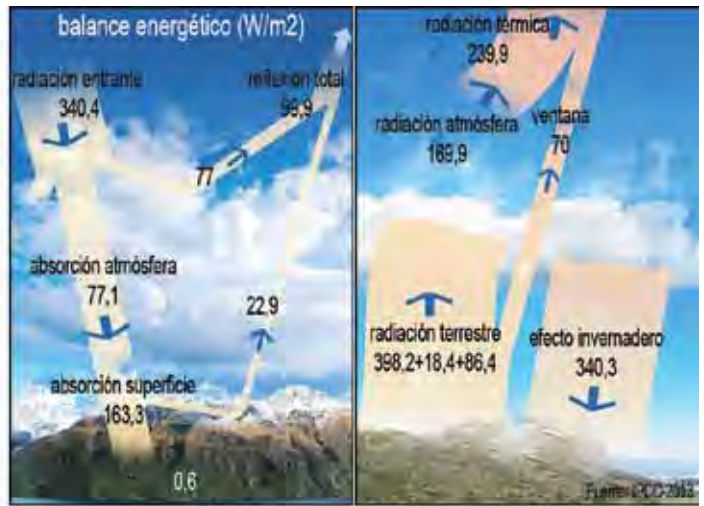
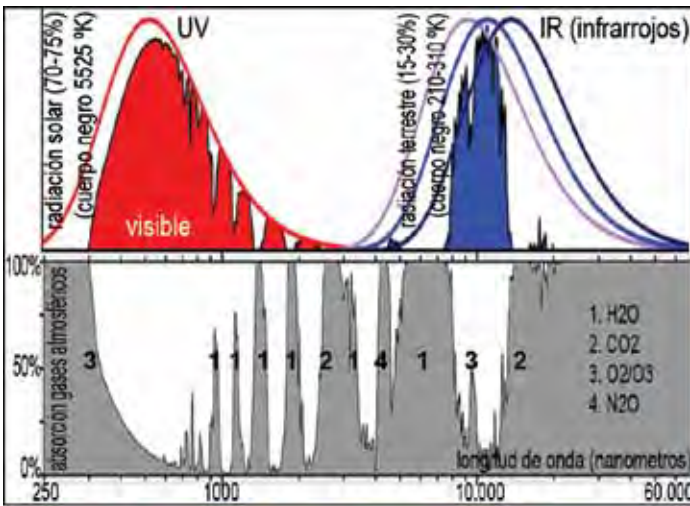
Conclusión: la plantación de árboles beneficia el ambiente, pero no resuelve el problema. Primero porque deben plantarse árboles en zonas no forestadas (nuevas) y además, la captura de carbono en bosques y suelos es reversible. El carbono queda liberado cuando el árbol muere o antes debido a incendios forestales; el manejo inadecuado de los bosques; cambios en los usos de suelo; plagas o enfermedades vegetales. Otro aspecto es que si bien la cantidad de carbono aumenta, la de nutrientes no sigue el mismo ritmo. Quiere decir que el crecimiento calculado de bosques puede no ser mantenido por los nutrientes disponibles en el suelo. Incluso, la disponibilidad de agua podría ser otro limitante. Finalmente, alguien podría cuestionar que se plantan árboles exóticos como el *Eucalyptus* en lugar de árboles nativos. Aunque nuestro argumento sería que absorbe más rápido el CO_2 . Las objeciones serían mayores si la propuesta incluye árboles transgénicos.

El calentamiento global (ii): el efecto invernadero

El balance energético. La atmósfera mantiene un equilibrio entre la radiación solar entrante y la emisión que retorna al espacio. La energía que proviene del sol es filtrada por los gases de la atmósfera y a la superficie llega radiación ultravioleta (rayos de onda corta UV). Desde la superficie se emite radiación que es filtrada en la atmósfera y llega al espacio en forma de calor (rayos de onda larga infrarrojo IR). La energía almacenada en la atmósfera y superficie da lugar a fenómenos turbulentos climáticos (vientos y tormentas).

Los objetos claros (nubes o nieve) reflejan más energía, mientras que los oscuros la absorben (piedras, árboles). La nieve refleja el 86%, las nubes el 50%, la arena el 21%, los bosques el 8% y los océanos de 5% al 10%. Este porcentaje se denomina albedo y varía entre planetas. El albedo promedio terrestre es de 38%, el 70% en Venus, el 15% en Marte y el 7% en la Luna (sin atmósfera). Las partículas de carbono

(hollín) en suspensión son parte del smog y, aunque no son gases GEI, aportan casi la mitad de calentamiento que el CO_2 . Se posan en las zonas heladas y absorben luz solar, argumento que explica el exceso de calentamiento del ártico. Sin embargo, el hollín es más fácil de tratar ya que el CO_2 es un gas de larga duración. Las plantas absorben hasta el 90% de radiación solar y la convierten en energía potencial mediante la fijación del carbono por fotosíntesis en la madera. En los océanos, la mayor parte de la radiación se consume en evaporación y esa energía es liberada cuando el vapor de agua se condensa en lluvia. El balance energético se conoce por los estudios de NCAR (*National Center Atmospheric Research*). Desde el sol llega una densidad de energía de 340 Watt por m^2 . La atmósfera refleja 76 y la superficie de la Tierra 24; en total se reflejan 100 W/m^2 . Otros 79 son absorbidos por la atmósfera y 161 por la superficie terrestre; en total se absorben 240 W/m^2 . La Tierra emite radiación desde la superficie, los océanos,



gases invernadero	fórmula química	aumento concentración 1750-1994 (ppbv)	potencial GEI (veces/CO ₂)	tiempo de vida (años)
dióxido carbono	C O ₂	278.000 > 358.000	1	100
metano	C H ₄	700 > 1721	21	12,2
óxido nítrico	N ₂ O	275 > 311	310	120
CFC-12	C Cl ₂ F ₂	0 > 0,503	6.200-7.100	102
HCFC-22	CH Cl F ₂	0 > 0,105	1.300-1.400	12,1
perfluorometano	C F ₄	0 > 0,070	6.500	50.000
sulfuro hexa-fluoruro	S F ₆	0 > 0,032	23.900	3.200

1131. El balance energético. El espectro de la radiación solar entrante (rojo) y la emisión calórica saliente (azul) son el resultado del filtrado que realizan los gases de la atmósfera (arriba-izquierda). Los gases (H₂O, CO₂, O₂, O₃) filtran la radiación dejando "ventanas" en diferentes longitudes de onda. El balance energético (derecha) entre la radiación entrante y la pérdida de calor debería ser nulo; pero las emisiones humanas entrega una diferencia de 1-2 Watt/m² al año. Este valor, es el responsable del calentamiento global. La radiación solar no es uniforme en toda la superficie del planeta debido a muchas causas (inclinación, nubosidad, humedad, etc.). La región noroeste andino de la Argentina es la de mayor irradiación en la superficie (centro-izquierda). El aporte humano en W/m² se concentra en las zonas industriales (derecha). Existen diferentes contribuciones que aumentan o reducen el balance de energía (abajo-izquierda). El albedo (porcentaje de reflexión) de la superficie produce un incremento de calor debido al carbón que se acumula sobre el hielo y a la vez una reducción por la agricultura. Los volcanes emiten aerosoles a la alta atmósfera que reflejan la radiación entrante y reducen el calor. Los gases que producen el efecto invernadero GEI (derecha) reflejan la radiación calórica saliente de la superficie y aumentan la temperatura. Los gases GEI se diferencian por la potencia (respecto del CO₂) y duración (persistencia) en la atmósfera. Algunos son exclusivos de la era industrial (concentración cero en el año 1750). Por la persistencia, el metano se parece a una borrachera de la cual se recupera rápido (aunque es 21 veces más potente), mientras que el CO₂ se parece a una enfermedad crónica de largo plazo.

nubes y atmósfera por un total de 581 W/m². Debido a los gases GEI se reflejan hacia la superficie 342 W/m², lo que garantiza las temperaturas templadas del planeta. En suma, se escapan al espacio 339 W/m² de los 340 W/m² que llegan a la Tierra. La diferencia de 1 W/m² es el producto del aumento del CO₂ cercano a 10 GtC anuales, e impide el equilibrio incrementando la temperatura. Es el Calentamiento Global.

Efecto invernadero. La atmósfera está compuesta de nitrógeno (78,1%), oxígeno (20,9%) y argón (0,93%). Contiene además otros gases, algunos de los cuales producen el efecto invernadero. El vapor de agua es el más importante y del que menos se habla, y el dióxido de carbono CO₂ es el más conocido. Sin considerar el vapor de agua, el CO₂ es el 82% de los GEI (producido por la generación eléctrica el 38% y el transporte el 32%). El metano CH₄ ocupa el 9% (producido por el consumo de combustibles fósiles 40% y fermentación animal 25%). El óxido de nitrógeno N₂O es el 6% de los GEI (el 75% proviene de la agricultura). También se cuenta el ozono (O₃) y los gases fluoruros.

Además de la proporción de los GEI es importante el poder de calefacción. Tomando el CO₂ como referencia, el metano tiene un potencial efecto invernadero 21 veces mayor; el óxido nitroso de 310; y los derivados del flúor (CFC) desde 1.500 a 24.000 veces más potente. Desde 1750 una quinta parte del efecto invernadero corresponde al metano, pero el presupuesto global de metano es mucho menos conocido que el CO₂. Junto con la abundancia y poder se encuentra la persistencia de estos GEI. Todos los gases derivados del flúor son postindustriales y tienen un tiempo de degradación de 10 a 50.000 años. Por ejemplo, el hexafluoruro de azufre (SF₆) tiene 23.900 veces más poder que el CO₂ y se degrada en 3.200 años promedio. La industria lo usa como fluido dieléctrico y lo emitido hoy seguirá presente por miles de años. En cambio, la tasa de intercambio en el ciclo de carbono hace que el CO₂ se recicle en la atmósfera cada 100 años (el pasado nos persigue).

El efecto invernadero es esencial para la vida, sin él la temperatura media descendería 33 °C (llegando a -18 °C, bajo cero) y la vida sería inviable. El problema no son los GEI, sino el aumento de la concentración a una velocidad muy rápida. Por ejemplo, el planeta Marte tiene una fina atmósfera sin agua ni CO₂ y por lo tanto, no tiene el efecto invernadero. El caso de Venus es opuesto, tiene una atmósfera con 300 veces el CO₂ terrestre (96,5%) y una presión de 90 atmósferas. La temperatura llega a 470 °C. Así que, Marte y Venus no pueden sostener la vida. La concentración de CO₂ en la Tierra se incrementó desde 280 ppm (0,028%) en el año 1750 (era preindustrial) a 400 ppm en el año 2013. Cerca de 60% de las emisiones proceden de la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) y el resto de la agricultura y deforestación. Como el CO₂ es un gas invisible, solo se percibe el incremento mediante instrumentos. En 1958 Charles Keeling instaló en la cima del volcán Mauna Loa (Hawái) un observatorio de química atmosférica a 3.400 m de altura; muy lejos de los centros urbanos y la industria. Desde entonces se dispone de un registro continuo, cuya curva superó el umbral de 400 ppm de CO₂ en mayo del 2013.

El incremento de CO₂ tiene efectos inesperados. El gas asciende lentamente y por encima de 50 km de altura se enfría; absorbe energía de colisiones con el oxígeno y la emite al espacio como radiación infrarroja. El resultado es que los satélites artificiales se están moviendo a una velocidad más rápida que la calculada debido a la menor fricción.

Gestión de riesgo. Se pueden definir varias formas de gestionar los riesgos del cambio climático. (1) La mitigación son los esfuerzos para reducir los GEI. Incluye la regulación; el despliegue de nuevas tecnologías; la conservación; el aumento de la conciencia pública; los incentivos para reducir las emisiones; los impuestos a la emisión de GEI. (2) La adaptación es el aumento de la capacidad de la sociedad para hacer frente a los cambios. Incluye las regulaciones para disminuir la vulnerabilidad; la planificación de respuestas; la recuperación de desastres; la observación y vigilancia; la evaluación del impacto; el cuidado para reducir la contaminación y pérdidas de hábitat. (3) La ingeniería climática o geoingeniería es la intervención directa deliberada para contrarrestar alguno de los efectos del cambio climático. Consiste en compensar los efectos del calentamiento climático mediante la remoción y almacenamiento de carbono. (4) La ampliación del conocimiento es el esfuerzo para comprender el sistema climático. El conocimiento puede ayudar al desarrollo de tecnologías; a la toma de decisiones de la clase dirigente; a adoptar iniciativas que reduzcan los riesgos. (5) La remediación son los esfuerzos tendientes a reconstruir un ambiente afectado. Se trata de reponer un ambiente, ecosistema o especies en particular. Tal el caso de reponer servicios ecosistémicos como la purificación del agua mediante vegetación o la reintroducción de especies en su ambiente original.

Ingeniería climática. Son técnicas que buscan estabilizar el carbono libre mediante procesos "carbono negativo". Algunas alternativas son: producir madera mediante forestación; enterrar carbón vegetal (biochar); la geoingeniería solar (p.e., "sembrar" la atmósfera con azufre); sembrar los océanos para producir biomasa (hierro para activar el fitoplancton); usar CO₂ comprimido inyectándolo en un pozo petrolero; inyectar el CO₂ en cavernas subterráneas o en el fondo del océano. Son técnicas de "captura (secuestro) y almacenamiento (confinamiento) de carbono" (CSS).

Los proyectos de CSS son pocos debido a los elevados costos, la incertidumbre respecto de los riesgos y la falta de incentivos para invertir en esta tecnología. Por ejemplo, el almacenaje bajo tierra debe considerar los costos del proceso; la capacidad de la reserva; la integridad a largo plazo; la tecnología requerida y el impacto ambiental. Hay empresas interesadas en secuestrar carbono y vender los certificados en forma voluntaria a quienes necesitan mitigar su imagen de contaminadores. Hoy ya se hace mediante plantaciones de árboles. Pero, cualquier plan de secuestro de carbono requiere una contabilidad confiable, sea por cantidad de carbono secuestrado (CO₂) como por otros compuestos liberados (metano, DMS). Además, está la fiscalización difusa si el secuestro se realiza en mar abierto, donde los gobiernos no tienen jurisdicción, y los daños pueden llegar muy lejos.

Desde la ética se puede argumentar que la ingeniería climática es "jugar con la naturaleza" y donde las reglas no son bien entendidas. Se descrea de la ingeniería climática como método de mitigación. Otros se preguntan: "¿si está permitido extraer metano (gas natural) desde las capas profundas, ¿Por qué no podríamos inyectar CO₂?"; "¿si derrochamos nitrógeno en el océano desde la agricultura, ¿Por qué no podemos tirar hierro para mejorar el sistema?" En la ciudad de Berendrecht (Holanda) un movimiento ambientalista impidió usar las cavernas de gas natural para inyectar CO₂ alegando posibles problemas para la salud en caso de escapes. El proyecto pretendía capturar el CO₂ desde las centrales eléctricas a gas y reinsertarlo en el mismo emplazamiento. Sin embargo, el mismo movimiento social no cuestionó la extracción

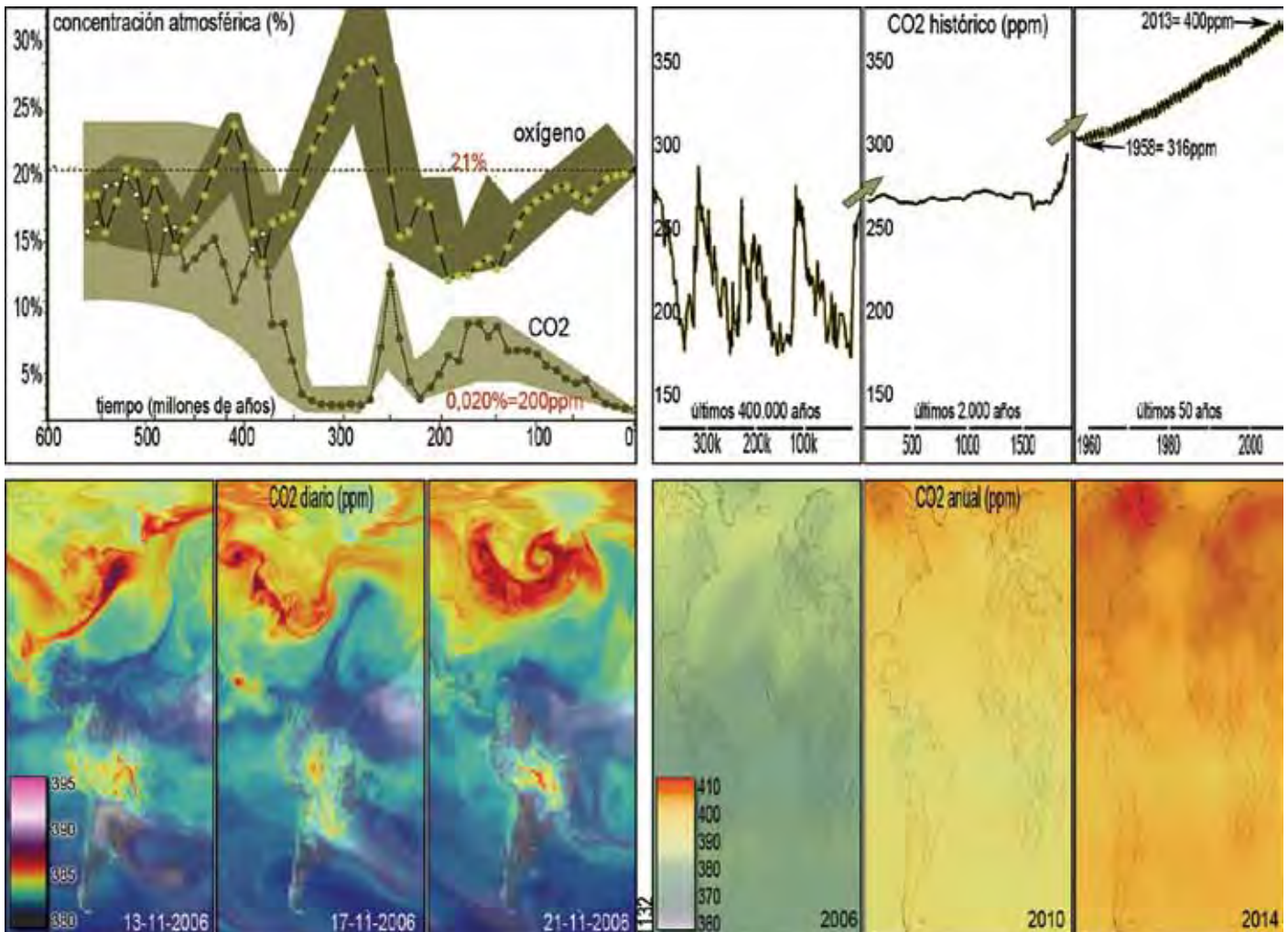
de gas natural metano para la central eléctrica. El metano se extrae y el CO₂ se reinsertaría en el mismo emplazamiento. Por lo visto, las reacciones no son equivalentes.

(1) Carbón vegetal. El primer paso para acumular carbono es la forestación. El problema radica en que luego de la acumulación en la madera el carbono se libera durante la putrefacción. Para estabilizar el carbono de la madera se requiere generar carbón. Se convierte el 50% del carbono de la madera en un sólido negro (que es estable por siglos) y se evita la emisión de CO₂. La producción es mediante pirolisis de biomasa, donde la masa vegetal se calienta en un ambiente de poco o ningún oxígeno. La ausencia de oxígeno evita la combustión (emisión de CO₂). El calentamiento a baja temperatura lleva más horas de proceso, pero produce mayor carbón sólido. La energía para el calentamiento puede provenir del gas que produce la misma pirolisis. Al carbón vegetal se lo llama biochar cuando se usa para enmienda del suelo o acumulación de carbono. El biochar puede aumentar la fertilidad del suelo con pH bajo (ácido) con incremento de la producción y protección del suelo. También fue útil para absorber óxido nitroso en los campos de ganado. En general, debido al poder de absorción, puede reducir la eficacia de los pesticidas

que se depositan en el suelo. La estructura porosa le permite acumular agua y nutrientes que serán usados por las raíces. Es una forma de secuestrar carbono de la madera y almacenarlo durante siglos.

Más complejo es el confinamiento mineral. Se trata de una alquimia natural que combina el CO₂ disuelto en agua con calcio (en rocas basálticas) para formar carbonato de calcio (piedra caliza). Se propuso utilizar roca triturada de forma que, por reacciones exotérmicas (que liberan calor), se combinen con el CO₂ neutralizando los minerales y confinando el carbono en la roca. Es un proceso natural lento que involucra aire o agua y que puede acelerarse si se trituran las rocas, en especial los silicatos (como el olivino). Un cuestionamiento dice que el costo energético para la extracción, molienda y transporte de minerales puede ser igual al beneficio del confinamiento. Otra alternativa propuesta es llevar el CO₂ comprimido hasta depósitos de basalto bajo el mar, donde reaccionaría químicamente.

(2) La fertilización. Cada alternativa de CSS tiene sus pros y contras, donde las opciones con resultados rápidos son las más difíciles de gobernar y las más estables son las más caras y lentas. Los



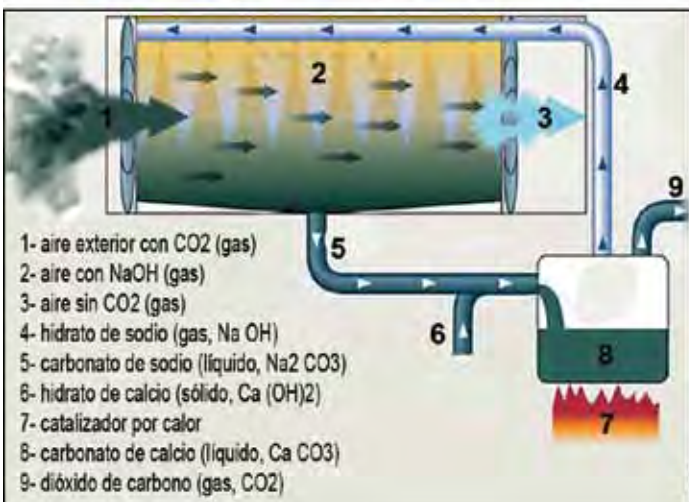
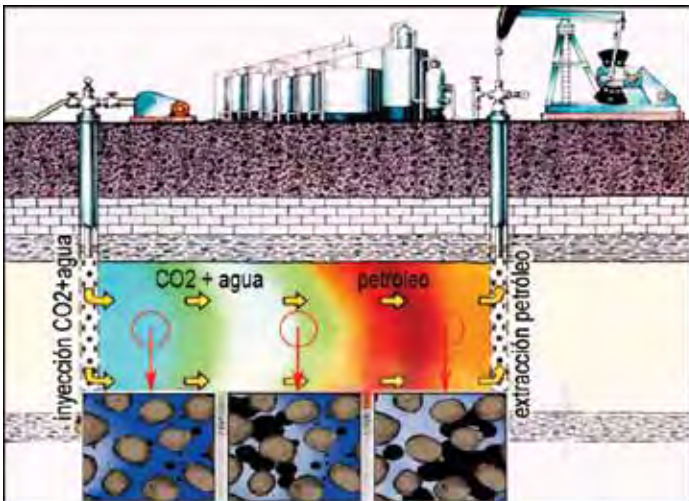
1132. La Evolución del CO₂. El CO₂ atmosférico a lo largo de la historia de la Tierra (arriba-izquierda) muestra que en 600 millones de años se mantuvo en valores muy elevados y se redujo a 200 ppm (0,02%). Los recientes 400.000 años (derecha) y las últimas décadas se mantuvo en 200-250 ppm. Se señala como 270 ppm el valor preindustrial (1750). La tendencia actual es creciente y está modulada por las variaciones estacionales. El CO₂ tiende a disminuir en verano cuando las plantas lo absorben y lo fijan en la madera. La distribución de CO₂ en la atmósfera no es estable ni uniforme. Una imagen diaria muestra la concentración de CO₂ entre el 13-21 de noviembre del 2006 (abajo-izquierda). Se forman grandes remolinos en América del Norte debido a la actividad industrial y en América del Sur por los incendios en el Amazonas. El CO₂ se arremolina y dispersa debido a las corrientes de vientos de altura. Pero, cuando se observan los promedios anuales (derecha) la distribución es más uniforme y se observa una tendencia al aumento de largo plazo.

argumentos en contra pueden ser técnicos, económicos o éticos. La geoingeniería solar consiste en modificar el albedo (porcentaje de la radiación reflejada sobre la radiación incidente). Es muy simple, se busca reducir la radiación que llega a la Tierra, pero el control de las consecuencias climáticas es impredecible. Se puede "sembrar" azufre en la alta atmósfera para reflejar la luz solar, similar a una erupción volcánica, pero podría traer variaciones locales y reducción del ozono).

La "fertilización" del océano con hierro pretende aumentar la producción de fitoplancton para secuestrar carbono. El fitoplancton al morir lleva el carbono al fondo, pero reduce el oxígeno disuelto. Se estimó en laboratorio que por cada tonelada de hierro se podría extraer de la atmósfera 100.000 toneladas de carbono, aunque en experimentos prácticos fue de 1.000 toneladas (menos eficientes y duraderos). El problema es que toda la producción que se afecta corresponde al primer peldaño de la cadena trófica. Una parte del carbono vuelve al circuito al proliferar el zooplancton y el resto de la cadena trófica. Otra parte se mantiene en capas intermedias y circula por las corrientes oceánicas. Solo una fracción pequeña se hunde hasta el fondo del océano y queda confinado. Otro problema es que la adición de hierro aumenta la porción de "mar verde", pero también incrementa la del "mar azul", ya

que consume otros nutrientes dispersos agotando las existencias. En el futuro quizás se necesite sembrar otros minerales. Además, podría afectarse la penetración de luz solar para la vida a mayor profundidad o incrementar la proporción de otros gases GEI debidos a la descomposición del plancton (metano).

(3) Explotación petrolera. Esta aplicación comprime CO_2 y lo inyecta en pozos petroleros para facilitar la extracción en los vecinos. Una objeción es que el resultado neto es carbono positivo: por cada tonelada de CO_2 que se inyecta se extraen 0,6 t de petróleo, lo que equivale a 2 t CO_2 nuevos en la atmósfera. Otra alternativa ocurre en Islandia: se instaló una industria que convierte CO_2 en metanol usando energía geotérmica. La energía se convierte en electricidad que se usa para separar hidrógeno desde el agua, el cual se combina con el CO_2 para llegar al metanol (CH_4O). El metanol se puede usar en aglomerados, pinturas y otros productos. Este proceso solo es posible donde la fuente de energía y el CO_2 son muy baratos. No es fácil capturar CO_2 desde la atmósfera ya que está mezclado con otros gases y en muy baja proporción. Una alternativa es obtener el CO_2 en una central térmica, lo que encarece el proceso en 40% y reduce la eficiencia de la central en 30%.



1133. Ingeniería climática. La ingeniería climática se ocupa de operar sobre el clima para manejar las variables del cambio climático. El cambio más evidente es quitar el exceso de CO_2 de la atmósfera y alojarlo en lugares estables. El carbono puede ser "secuestrado" como CO_2 y comprimido para usarse en la explotación petrolífera (arriba-izquierda). El "confinamiento" de C (derecha) se puede realizar en minas, acuíferos o depósitos de petróleo agotados y en el fondo del mar en estado sólido en forma de hidrato de metano. La captura de carbono se realiza separando el CO_2 desde el aire mediante un proceso costoso que requiere de tratamientos con sodio y calcio (abajo-izquierda). Solo se justifica si la concentración de CO_2 es muy elevada, como en centrales térmicas o las plantas de combustible (derecha).

(4) Confinamiento geológico. La seguridad a largo plazo del CO₂ almacenado depende de una combinación de trampas físicas y químicas. Los emplazamientos subterráneos se basan en propiedades físicas, mientras que los oceánicos en procesos químicos.

El confinamiento en capas geológicas recurre a minas abandonadas (carbón o sal) y depósitos de gas o petróleo agotados. El CO₂ en estado gaseoso o líquido es confinado de forma estática por debajo de una capa impermeable (esquistos, arcillas o evaporitas), de forma que no puede fluir hacia arriba desde esa posición. Este tipo de trampas incluyen anticlinales (son pliegues en forma de campana), bloques de falla (corrimiento transversal de un corte quedando un espacio en V invertida) y estratigráficas (capas de diferente permeabilidad con la impermeable arriba lo que cierra la migración vertical). El almacenamiento es similar a los que contienen hidrocarburos. No se debe exceder la presión máxima para no crear una fractura que produzca un escape. Los escapes de CO₂ pueden ser dramáticos para la población cercana, ya que el CO₂ no se ve y desplaza al oxígeno en la superficie por ser más pesado, lo que empuja el oxígeno hacia arriba. Además, podría transportar metales pesados y contaminar las aguas subterráneas. En Athabasca-Canadá se instalaron 2 plantas para capturar el CO₂ que se produce al extraer el bitumen y convertirlo en crudo sintético. La producción de petróleo desde arenas bituminosas es intensiva en emisiones de CO₂ (entre 3 y 4,5 veces mayor al petróleo convencional). Paradójicamente, las empresas petroleras son las que mejor entienden la geofísica para el almacenamiento de CO₂ y son las que podrían beneficiarse de programas subvencionados.

El confinamiento en acuíferos salinos subterráneos consiste en inyectar el CO₂ por debajo para que ofician de estrato de confinamiento (trampa

hidrodinámica). El agua fluye lentamente a velocidades de algunos cm/año y por centenas de kilómetros, por lo que el tiempo de tránsito hasta la descarga llevará miles de años. Si el CO₂ se encuentra en fase gaseosa la velocidad de migración será mayor, ya que es menos viscoso que la salmuera (el fluido original). Algunos estiman que el CO₂ inyectado en el acuífero salino en grandes cantidades se terminará separando del agua en una capa diferente por encima del agua (porque es menos denso). También existe el peligro de contaminar capas de agua dulce subterráneas.

(5) Confinamiento oceánico. En este caso se aprovecha la variación de la temperatura, salinidad y densidad en función de la profundidad. Las curvas muestran una diferencia clara entre los primeros 1.000 m y el fondo, lo cual reduce la capacidad de mezcla entre capas. Si se vierte CO₂ en estado sólido, líquido o dentro de hielo en el fondo del mar, tardará muchos siglos en volver a circular. El CO₂ forma un líquido más denso que el agua de mar, lo que ayuda a permanecer en el fondo. En algunos casos podría reaccionar con el carbonato de calcio de las rocas, lo que ayudaría a mantener la estabilidad del confinamiento. El problema surgiría en caso de ser liberado, ya que reaccionará con el agua reduciendo el pH y acidificando los océanos. Una parte importante del CO₂ fluye en forma natural desde la atmósfera al océano, es absorbido por los organismos en crecimiento y se hunde cuando mueren. El calentamiento vuelve al agua menos viscosa y permite que las partículas se hundan más rápido. Por cada 1 °C de calentamiento la velocidad aumenta un 5%. Un modelo climático sugiere que el calentamiento global haría que los océanos acumularan más CO₂ en el fondo, lo cual amortiguaría el incremento de la temperatura. Quizás podría aumentar la viscosidad en 10-15% para el año 2100, con un amortiguamiento de 0,1-0,2 °C. Todas las predicciones a largo plazo se fundamentan en modelos climáticos y tienen un margen de incertidumbre muy amplio.

El calentamiento global (iii): la incertidumbre del futuro

El IPCC (*Intergovernmental Panel Climate Change*) fue creado en 1988 dentro de la ONU para estudiar en bases científicas los efectos del cambio climático. Tiene 3 grupos de trabajo: uno se ocupa de la ciencia del clima (física); otro del impacto (vulnerabilidad y adaptación) y un tercero de la mitigación de las consecuencias. Los informes recientes fueron del 2001, 2007 y 2014, donde cientos de científicos hicieron sus aportes desde un punto de vista políticamente neutral. Los informes no son trabajos originales, sino el procesado de gran cantidad de trabajos publicados. Sufren procesos de evaluación, revisión y consenso. El consenso lleva mucho tiempo y pretende garantizar la pulcritud de datos y conclusiones. Para algunos el "consenso" implica también ceder y dicen que los informes resultan ser conservadores.

El grado de "consenso científico" se muestra en la "incertidumbre" de las conclusiones, que se expresa en porcentaje de confianza en los datos. Los informes entregan escenarios posibles sobre lo que puede ocurrir en el futuro teniendo en cuenta supuestos diferentes. Los escenarios no son predicciones ni pronósticos y entregan una posible visión de las consecuencias.

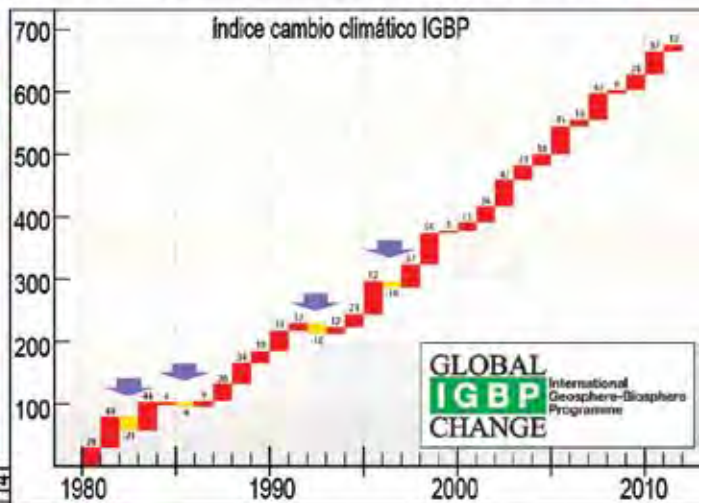
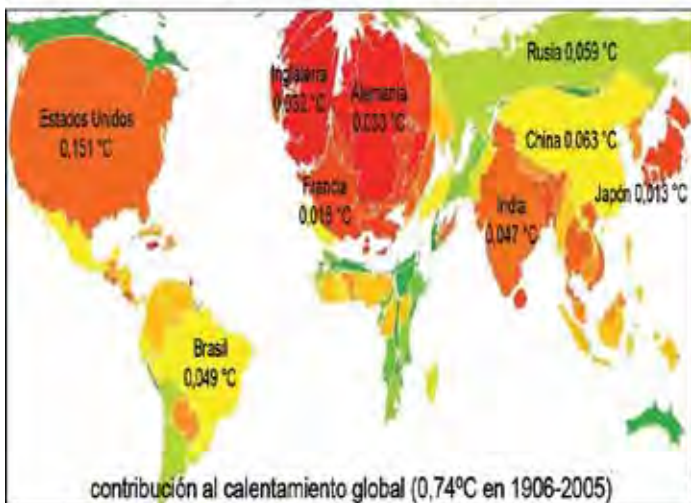
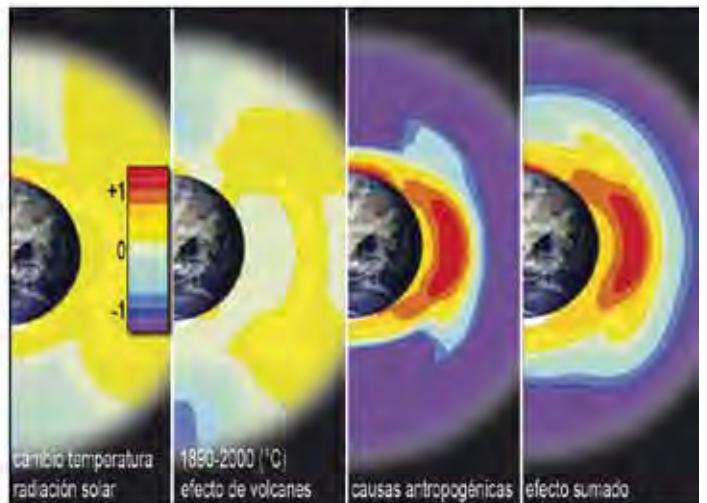
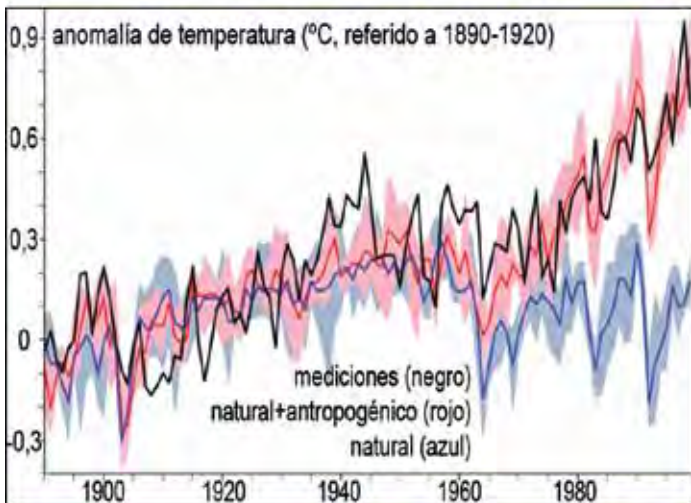
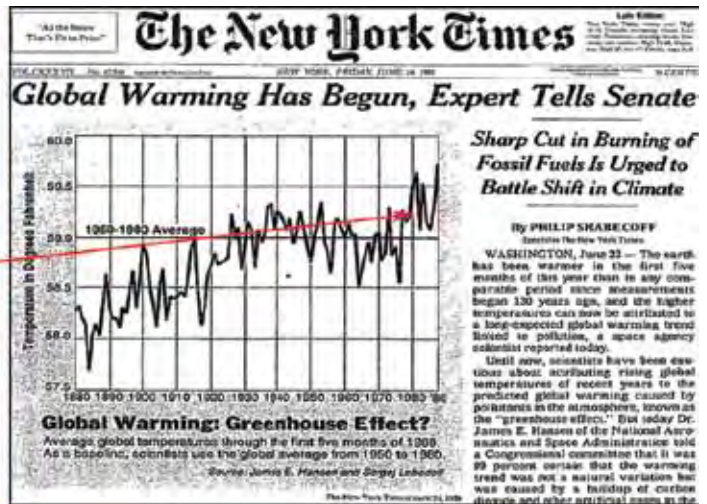
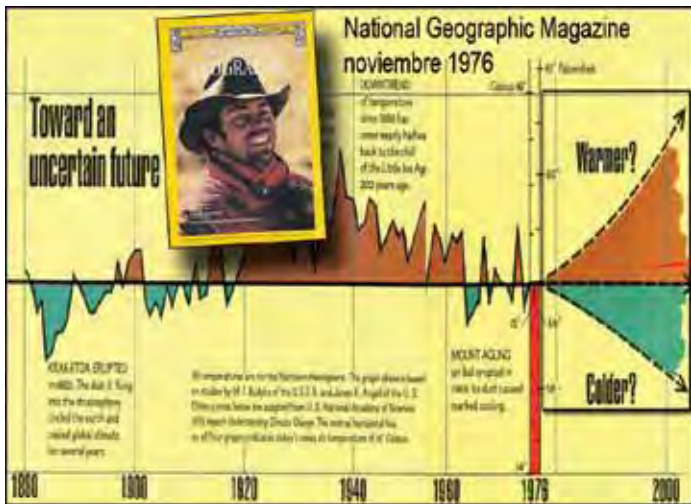
Un problema dentro del IPCC es la relación de "fuerzas" entre países ricos y pobres. Los países pobres tratan de hacer hincapié en la historia de las emisiones ya que esa responsabilidad recae sobre los ri-

cos. En cambio los ricos dicen que hay que mirar hacia adelante, donde los países pobres son los grandes contaminadores. Un argumento de los ricos señala que no se puede culpar a los países que contaminaban a principios del siglo XX cuando las únicas fuentes de energía eran las fósiles. Los países en desarrollo, en cambio, ponen en evidencia el poder de fuego de los países ricos en cuanto hace a la cantidad y calidad de los científicos. Para el informe del IPCC del 2014 solo el 30% de los científicos eran de países en desarrollo y casi la totalidad de las revistas científicas son de los países desarrollados.

El caso: "Bolsa de Valores". Para el IPCC sería tolerable un incremento de temperatura global promedio de 2 °C como máximo, respecto a la era preindustrial. El Instituto Postdam calculó que para mantenerse bajo este umbral las emisiones totales en el período 2000-2050 deberían estar por debajo de 153 GtC. El problema es que se emitieron 87 GtC solo en el período 2000-2010 y que las reservas de combustibles fósiles conocidas son de 755 GtC. En las Bolsas de Valores del mundo las 200 empresas petroleras o mineras más importantes reportan activos por 201 GtC y un valor de mercado de 7,42 billones de dólares (10¹²) en febrero del 2011. A razón de 10 dólares la tonelada de carbono. Esto, corresponde al 20-30% del stock total de acciones globales. La física dice que hay 10 veces más carbono en carbón, petróleo y gas del que se puede quemar en forma segura.

Por ejemplo, la petrolera Exxon (heredera de la Standard Oil de Rockefeller) tenía un stock de 1,1 GtC, con un valor de mercado de

432.000 Mus\$ a inicios del 2014. Exxon es responsable del 3% de todas las emisiones globales desde 1751 y rechaza la ciencia del cam-

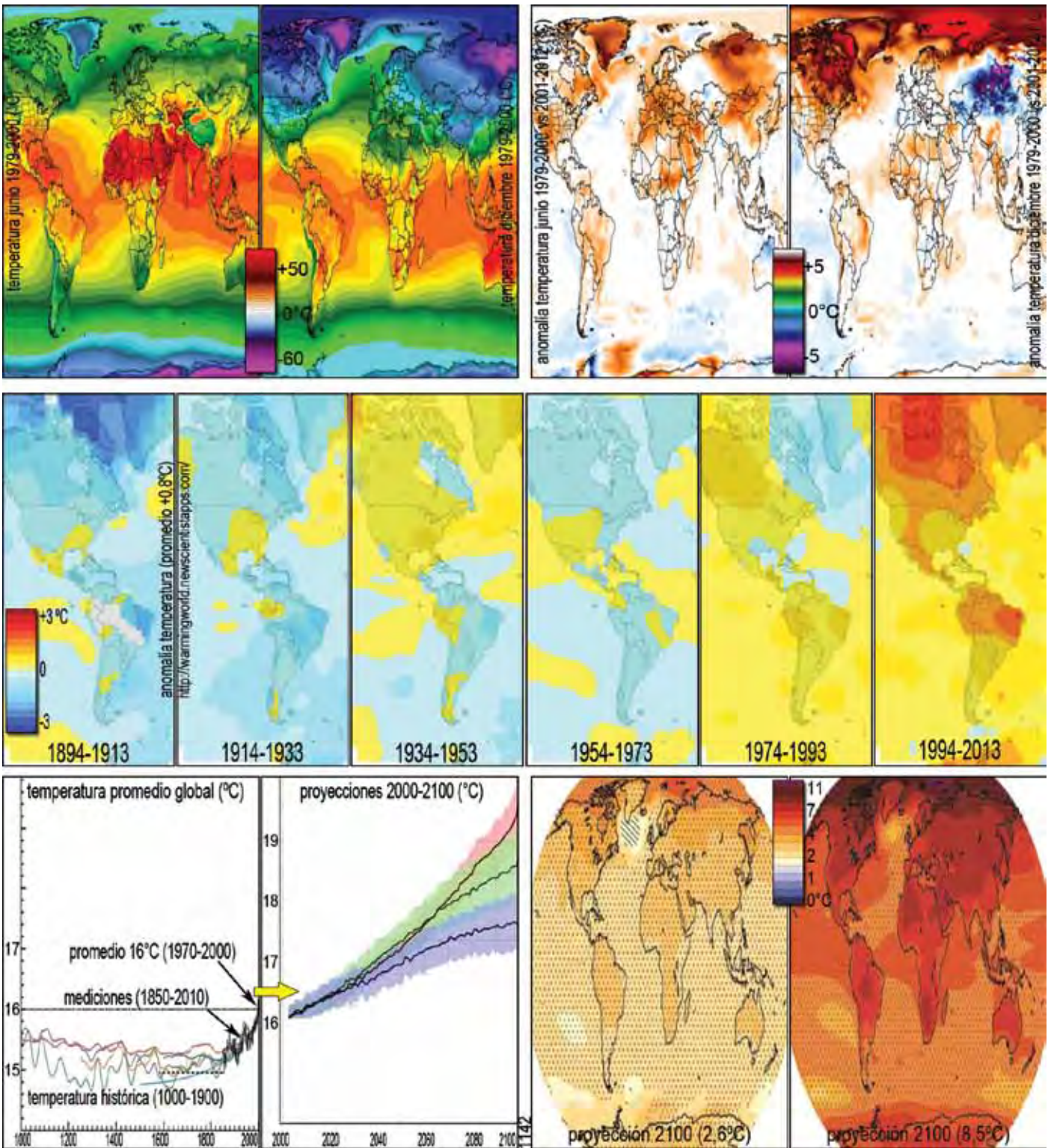


1141. La temperatura (i): historia y tendencia. La revista *National Geographic Magazine* en noviembre 1976 exponía la incertidumbre en cuanto a la evolución de la temperatura a futuro (arriba-izquierda). Las variables desconocidas en aquel momento que podían inclinar la balanza en algún sentido eran: las erupciones volcánicas; los ciclos de manchas solares; la variación en la órbita terrestre, y “el volcán humano” que todavía estaba por evaluarse. En 1988, *The New York Times* mostró el incremento de temperatura (derecha) que en cierta forma daba por cerrada la incógnita de 10 años antes. Los datos indican una variación de +0,8 °C desde 1880 al 2010. Si se desglosan las causas naturales y antropogénicas (centro-izquierda) se observa la carga humana en el incremento de la temperatura en las últimas décadas; aunque el incremento de temperatura se concentra en las capas intermedias de la atmósfera (derecha). Cuando se observa el aporte al calentamiento por países (abajo-izquierda) se encuentran en primer lugar a los países desarrollados (medido como grados centígrados respecto de 1906). Otra mirada es el índice de Cambio Climático IGBP. Es similar a los índices bursátiles y muestra como aumenta en forma creciente con base en 1980 (derecha).

un planeta

bio climático, financiando campañas de desinformación y socavando esfuerzos de política climática. ¿Cómo?, gastó en 2002-2010, más de

130 Mus\$ en contribuciones políticas con una distribución de 10 veces mayor a políticos que se opusieron a la reducción de emisiones de GEI.



1142. La temperatura (ii): tendencia de largo plazo a futuro. La temperatura no cambia en forma uniforme en todo el planeta. Por ejemplo, el valor promedio de temperatura en el período 1979-2000 para junio y diciembre (arriba-izquierda) indica una excursión con extremos entre +50 (Sahara) y -50 °C (Siberia). Por otro lado, la variación de temperatura respecto de este promedio (derecha) muestra un incremento de hasta +5 °C (Ártico) y -5 °C (Siberia). Una forma de observar la variación de temperatura a largo plazo es generar promedios cada 20 años (centro). Considerando desde 1894, el incremento acelerado de temperatura se concentra en últimas décadas, desde 1974 y en el Ártico. El futuro puede seguir diferentes escenarios. Teniendo en cuenta la fluctuación histórica 1000-1900 cercana a 15 °C, el promedio de mediciones 1850-2010 llegó a un valor de 16 °C (abajo-izquierda). Para el período 2000-2100 se esperan extremos entre +2 y +4 °C referido al 2000. Los escenarios extremos (derecha) llegan +2,6 a +8,5 °C en el 2100 referido a la era preindustrial. Se tienen en cuenta las posibles conductas humanas siguiendo las tendencias actuales. El aumento se concentrará en el Ártico (derecha) lo que podría tener consecuencias graves para el clima y la circulación oceánica.

¿Qué ocurrirá cuando se pretenda obligar a que la mayoría de esas reservas de carbono deban permanecer bajo tierra o “pagar” para extraer el CO₂ desde la atmósfera (ingeniería climática)? ¿Se está dispuesto a tolerar una pérdida notable en la bolsa de valores? La industria de combustibles fósiles invierte en desacreditar la idea que el calentamiento global existe, y de existir dice que no tiene causas antropogénicas. Situaciones similares se vivieron en otras oportunidades. Por ejemplo, el plomo en la nafta o la nicotina en el tabaco, fueron negados como causas de problemas de salud. La industria luchó por décadas en contra de evidencias acumulativas.

El Índice Dow Jones, o similares, concentran un gran número de datos en un solo valor que representa una estimación más fiable que cada valor en particular. Para el cambio climático se generó un Índice IGBP (www.igbp.net) que concentra los principales indicadores. El resultado es un índice que crece en forma inequívoca desde 1980. Con un valor de 300 en 1997, llegó a 600 en el año 2011. En 30 años de historia del índice, cayó en 3 ocasiones que coinciden con las erupciones de los volcanes en El Chichón (México-1982), Pinatubo (Filipinas-1991) y Monserrat (Caribe-1996). Estas erupciones afectaron la temperatura y el nivel del mar. Pero, ¿Qué argumentos nos asisten para asegurar que el calentamiento global tiene un origen humano? y ¿Cuáles serán las consecuencias?

Las evidencias del calentamiento. El calentamiento global está ocurriendo y puede observarse en algunos indicadores. (1) El nivel del mar aumentó durante el siglo XX; pero en la última década a un ritmo casi el doble del siglo pasado. (2) Aumentó la temperatura global desde 1880, la mayor parte ocurre desde 1980. Aunque en la primera década del siglo XXI se tuvo un declive en la radiación solar (con mínimo en 2007-09) la temperatura global no descendió. En Estados Unidos las temperaturas extremas de máxima y mínima aumentaron desde 1950. (3) Los océanos se calientan absorbiendo la mayor parte del calor. Los 700 m superiores muestran un aumento de 0,3 °C desde 1969. (4) Las placas de hielo de Groenlandia disminuyeron en masa. La superficie con hielo en el invierno ártico disminuye en extensión y volumen. También los glaciares en todo el mundo están retrocediendo (incluyendo los Alpes, Himalaya, Andes y Alaska). El piso de nieve en los Andes se eleva en forma constante desde hace décadas. (5) La acidez de las aguas superficiales de los océanos se incrementó (disminuye el pH) lo que pone en riesgo a los organismos calcáreos y los arrecifes de coral.

¿Posibles causas naturales? Un estudio de 11.944 artículos publicados por 29.083 autores en 1991-2011 sobre el tema calentamiento global mostró que el 97,1% apoyaba la idea del origen humano. A esto se denomina “consenso científico” y se basa en evidencias obtenidas del comportamiento climático a largo plazo.

La temperatura del pasado se puede obtener de las muestras de hielo polares y glaciares. Cuando el hielo se solidifica capta el polvo del aire y encierra burbujas que entregan información del CO₂ y otros gases. Los minerales contenidos y el espesor de la concha del fitoplancton y algas indican la temperatura. Los estudios informan que en los últimos 400.000 años los cambios de temperatura se produjeron principalmente por modificaciones de la órbita de la Tierra alrededor del Sol. Pero las mediciones de los satélites no muestran variaciones en los últimos 30 años. Además existe una correlación directa entre CO₂ y temperatura, tal como lo muestra el estudio de los hielos del lago Vostok, en la Antártida.

Otra posible causa podrían ser las erupciones volcánicas, pero las últimas tres más importantes generaron aerosoles que reflejaban la energía solar, produciendo enfriamiento. Los volcanes producen “enfriamiento global”. El gas dióxido de azufre que liberan los volcanes se convierten en partículas de ácido sulfúrico en la atmósfera superior. Estas partículas reflejan la luz solar con lo que enmascaran el calentamiento global y luego se convierten en núcleos para la formación de gotas de lluvia con lo que vuelven a la superficie produciendo la lluvia ácida. Se calculó que la emisión de CO₂ debido a los volcanes es 0,2 GtC/año, contra 10 GtC/año por razones antropogénicas. En particular, las emisiones del volcán Pinatubo (Filipinas-1991) emitieron cerca de 20 Mt de sulfuros que produjeron un enfriamiento de 0,3 °C a nivel global durante 3 años y un descenso del nivel del mar de 5 mm durante un año. Una hipótesis indica que el calentamiento global incrementará las erupciones volcánicas a muy largo plazo. Señala que el derretimiento de los glaciares reduce la presión sobre la corteza continental, aumenta el nivel del mar y la presión sobre la corteza oceánica. La combinación daría un incremento del vulcanismo con miles de años de retardo.

Algunos eventos locales pueden enmascarar la tendencia a corto plazo, lo que entrega argumentos a los detractores del calentamiento global. Por ejemplo, “El Niño” creó en la primera década de este siglo una zona de aguas frías en el Pacífico, el cual absorbió parte del calentamiento del planeta. El resultado parece negar el calentamiento global en la atmósfera, pero cuando este ciclo termina el calentamiento es más rápido porque el CO₂ continuó aumentando sin pausa. Desde el 2010 se estudió con detalle la evolución de la temperatura en los océanos, sea en diferentes lugares y profundidades. Las conclusiones apuntan a que el fondo del océano absorbe calor lo que permite mantener temporalmente constante la temperatura en la atmósfera (período 2000-2010). También se encontró que las lluvias e inundaciones en Australia del 2010-11 produjeron un *impasse* en el incremento del nivel del mar acorde con la reducción de los hielos polares. Del estudio de los hielos polares se pudo obtener cómo se comporta el clima durante variaciones lentas. Parece que las variables se mueven lentamente hasta que una de ellas cruza un umbral invisible y el clima bascula de golpe hacia otro estado.

Las consecuencias. La evolución a futuro es difícil de predecir, por lo que se generan “escenarios” donde interviene la conducta de la sociedad en cuanto hace al control de los gases GEI. La evolución a nivel regional y estacional es aún más compleja ya que cada ecosistema reaccionará en forma diferente generando respuestas contradictorias. Por ejemplo, las zonas cubiertas de nieve reflejan la radiación y cuando se las despoja de la nieve comienzan a absorberla, con lo que la temperatura aumentará más rápido. También los bosques que funcionan como sumidero de carbono mientras crecen, pueden llegar a convertirse en una fuente de carbono en caso de sequía prolongada. Por ejemplo, el Amazonas, que debería ser un sumidero de CO₂, debido a las sequías del 2005 y 2010 se convirtió en una fuente de CO₂ adicional.

Las proyecciones señalan un aumento global de temperatura mayor a 0,2 °C/década. Para lo que resta de siglo XXI, se espera que la media global aumente de 2 a 3 °C (con extremos en 1 y 5 °C). Se trata del mayor cambio en los últimos 10.000 años y será difícil para muchas especies adaptarse a esta transición abrupta. Analizando flores de herbarios de hasta 150 años de antigüedad, se comprobó que las

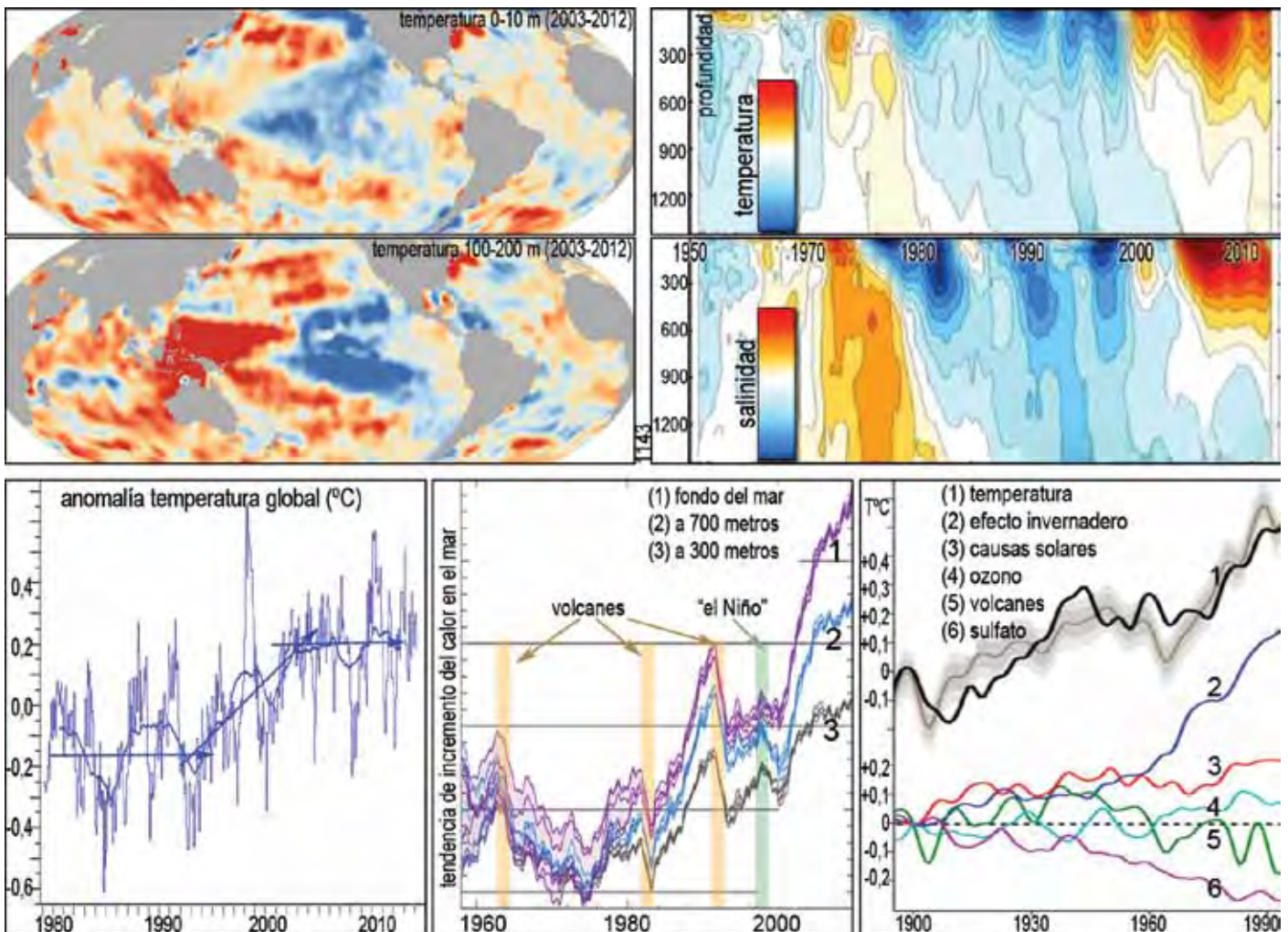
orquídeas florecen 6 días antes por cada 1 °C de aumento de temperatura en primavera. Es parte de la adaptación de algunas plantas al cambio global. Los herbarios contienen un volumen de información muy grande desde Linneo (hace 250 años) y pueden ser de ayuda para entender mejor estos cambios.

Argentina: el pronóstico. A nivel local, el cambio climático afecta al número de pingüinos antárticos. En el 2011 se informó que algunas colonias se redujeron hasta el 50% en las últimas 3 décadas y otras caen a un ritmo del 4% por año. En Punta Tombo (Chubut) se encuentra la mayor colonia de pingüinos de magallanes (*Spheniscus magellanicus*), con unas 200.000 parejas. Pero declinó un 24% en 25 años. La razón se buscó en la reducción de krill, los crustáceos similares a camarones que son su alimento. El cambio de temperatura del mar reduce la capacidad reproductiva del krill, lo que se suma a la recuperación del número de mamíferos marinos (focas y ballenas) debido a los proyectos de protección. El más perjudicado es el pingüino de barbijo (*Pygoscelis antarcticus*) que podría ingresar en un futuro en la lista de especies amenazadas. Como el 60% de las especies de pingüinos se encuentran bajo amenaza se postuló en el 2014 la creación

de un área protegida marina llamada Reserva de Biosfera Azul, con un total de 3,1 Mha en Chubut.

En la zona agrícola la mayor concentración de CO₂ podría mejorar el crecimiento de las cosechas (soja, trigo), pero también incrementaría las hierbas e insectos, por lo que podrían aumentar los riesgos de plagas. El incremento de temperatura aumentará la profundidad de las raíces, beneficiando a plantas habituadas a ecosistemas áridos y cultivo en secano. También, podría afectar el balance y la invasión de plantas exóticas, impactando sobre la salud pública debido al polen y toxicidad de especies invasoras.

Mientras los glaciares andinos se reducen por falta de aporte de nieve, se espera que aumente el stress hídrico sobre el Alto Valle del río Negro y en Cuyo, poniendo en riesgo el caudal de agua sobre las represas hidroeléctricas y la producción frutihortícola regional. Por ejemplo, se probó que la reducción del sabor y pérdida de textura en las manzanas Fuji de Japón se debe al aumento de temperatura durante la época de maduración. La temperatura reduce la cantidad de ácido málico, responsable del sabor de la fruta. En las zonas productivas se



1143. La temperatura (iii): reacción de los océanos. En la primera década del siglo XXI, los océanos absorbieron gran parte del calor de la atmósfera (arriba). El aumento de temperatura se concentró en ciertas áreas como el Índico y Pacífico Occidental (rojo), mientras que en otras se redujo (azul). El incremento de temperatura fue mayor en aguas de 100-200 metros de profundidad (izquierda) y se aceleró en este siglo (derecha). Desde el 2000, tanto la temperatura como la salinidad están en aumento. Cuando se observa la tendencia global de incremento de temperatura (abajo-izquierda) se encuentra una tendencia estable en 2000-2010 debido a la absorción de los océanos. El aumento de temperatura fue atemperado por las grandes erupciones volcánicas que redujeron el efecto invernadero (centro). Durante el siglo pasado (derecha), entre las componentes que produjeron variación de la temperatura se destaca al efecto invernadero sobre otras causas.

contabilizó un aumento de 2 °C en 40 años y un adelantamiento de una semana en la época de floración.

Mucho de lo que ocurra dependerá de cómo respondan los océanos, y el Mar Argentino es uno de los más importantes por la producción de plancton. El aumento de temperatura producirá una reducción de oxígeno y se limitará la capacidad de reproducción. Como el tamaño de los peces está supeditado a la disponibilidad de oxígeno, se espera una reducción de tamaño paulatino (14-20% hacia el año 2050), principalmente en los trópicos. La dilución de CO₂ aumenta la acidificación y afecta a los organismos con concha calcárea. Es una incógnita el comportamiento de las capas inferiores de los océanos, ya que tienen un intercambio muy lento con las capas superficiales.

Incertidumbre. Hoy día se sabe que en los últimos 100 años la temperatura media global aumentó 0,7 °C y desde 1975 el incremento es de 0,15 °C/década. Pero hace varias décadas se tenían dudas si el efecto de la contaminación atmosférica bascularía hacia el enfriamiento (por reflexión de la radiación solar entrante) o hacia el calentamiento (por reflexión del calor terrestre saliente). A los aerosoles naturales (sales desde espuma de mar, sulfatos volcánicos y arena del desierto) se le suma los generados por el consumo de combustible fósiles. Por ejemplo, los bosques de pinos boreales (norte de Europa, Asia y América) generan vapores ("olor a pino") que se transforman en aerosoles sobre el bosque. Estos, ayudan a la formación de nubes, a la reflexión de la luz solar y el enfriamiento del clima. En el futuro, más CO₂ debería corresponder a mayor crecimiento de los bosques y aumentaría el efecto de enfriamiento.

Otro caso es el aumento de la evaporación de agua en los océanos debido al alza de la temperatura, lo que potencia el efecto invernadero. La "retroalimentación del vapor de agua" será la principal causa del calentamiento para las próximas décadas. La cantidad de vapor de agua y la distribución vertical, son claves en la retroalimentación. Pero cuando se forman las nubes se obtiene un efecto ambiguo en el clima. Las nubes enfrían la atmósfera reflejando los rayos solares durante el día; pero también devuelven el calor a la superficie durante la noche. Actúan como amortiguadores en los extremos de temperatura diarios (los días nublados tienen menor excursión térmica). Se calculó que sin nubes el planeta sería 5 °C más cálido.

La incertidumbre se refleja en el consenso del IPCC referido al aumento de temperatura. En el año 2007 se estimaba que la duplicación del nivel de CO₂ produciría un incremento de temperatura de 2 a 4,5 °C. En el 2014 se modificó por 1,5 a 4,5 °C. Entonces, 7 años de estudio sirvieron para saber más y aumentar la incertidumbre. Se dice que "se pasó de incógnitas desconocidas a incógnitas conocidas". Para dar los resultados, el IPCC reúne datos de 20 grupos de modelización del clima y analiza las coincidencias. Casi todos los modelos predicen que el calentamiento global va a producir una realimentación positiva en las nubes, aunque no hay un consenso total. Los modelos no son perfectos, pero la incertidumbre no es una excusa para no hacer nada. La incertidumbre es una parte de cualquier Proyecto de Inversión en una empresa y su existencia no inhibe a los empresarios para hacer negocios. De la misma forma la incertidumbre en los Modelos Climáticos no debería invalidar las conclusiones.

Los conflictos humanos. Existe un interés especial en conocer la influencia del cambio climático sobre los conflictos humanos. Un

estudio del 2013, examinó la relación histórica de los conflictos humanos y las condiciones climáticas. Se usaron 60 estudios previos de 45 conflictos en los últimos 10.000 años, con datos de arqueología, criminología y psicología, economía y política, historia y geografía. Se analizaron la violencia interpersonal, inestabilidad política y caída de civilizaciones. Se observó una concordancia directa temporal y espacial entre el clima y la violencia personal o entre grupos. Un incremento en 1 °C de la temperatura tiene una tendencia de 4% de aumento en los riesgos de conflictos interpersonales y 14% en los intergrupales.

El cambio climático podría llevar a inestabilidad política derivada de los refugiados climáticos y el incremento de enfermedades tropicales. Es probable que derive en xenofobia y terrorismo. Se potenciarán los conflictos por los recursos (agua y suelo). A los gobiernos se les volverá más difícil garantizar el orden interno y las fronteras. Los estudios de criminología indican que en los días cálidos se incrementan las estadísticas del delito. La nieve y las ventanas cerradas en un clima frío pueden disuadir para cometer algunos de ellos. En tanto, un clima cálido aumenta la interacción social y afecta la fisiología de las personas haciéndolas más agresivas. Un estudio en 3.000 condados de los Estados Unidos entre 1980 y 2009, combinó delitos e información meteorológica. Al modelo resultante se le aplicó un incremento de 2,8 °C para el año 2100 e indica aumentos de criminalidad de 0,5 a 3,1%. Entre 2010 y 2100, el modelo predice un extra de 22.000 asesinatos, 180.000 violaciones, 1,2 millones de asaltos agravados y 580.000 robos de vehículos.

Las enfermedades tropicales se podrían propagar hacia zonas más frías y de mayor altitud. La malaria, los insectos y plantas se moverán lentamente junto con el cambio de temperatura. Se realizaron estudios de varias décadas sobre la malaria y su migración. En Etiopía se calculó que 1 °C de calentamiento del clima corresponde a 3 millones de casos adicionales de malaria por año. El 43% de la población de Etiopía vive "protegida" en alturas entre 1.600 y 2.400 m, pero esta zona de protección tiende a subir en altura.

Las "amenazas directas" del cambio climático (temperatura, lluvias, nivel del mar) se complementan con las "amenazas indirectas". Por ejemplo: la respuesta humana al cambio climático; los cambios culturales en la agricultura y pesca; la construcción de diques para proteger ciudades; los desvíos de agua, etc. Estas amenazas indirectas no han sido estudiadas en detalle debido a que los esfuerzos se pusieron en entender la magnitud de las amenazas directas. La pérdida de vida silvestre afectará la provisión de alimentos y esto será materia de conflictos, delitos e inestabilidad política. La pérdida de vida silvestre es un daño directo a la estabilidad de la sociedad. Por ejemplo, en Somalia la piratería en el océano empezó como un esfuerzo para repeler barcos de pesca ilegales y hoy se extendió al secuestro de cualquier tipo de barcos. Al inicio, los pueblos costeros defendían su fuente de sustento contra las flotas pesqueras internacionales. Otro ejemplo en África son los grupos que utilizan la caza furtiva para obtener colmillos de elefantes o cuernos de rinocerontes y así financiar el terrorismo. Tal el caso de Boko Haram (Nigeria) que se recuerda por el secuestro de 200 niñas de una escuela en Jibik en el 2014. Un estudio de 30 años (1980-2012) de conflictos en la región de Sahel (sur del Sahara con 3.000 km de ancho en 12 países) contabilizó 78.000 conflictos y un aumento en cantidad con el incremento de temperatura. La frecuencia es mayor para el rubro "incidentes comunales".

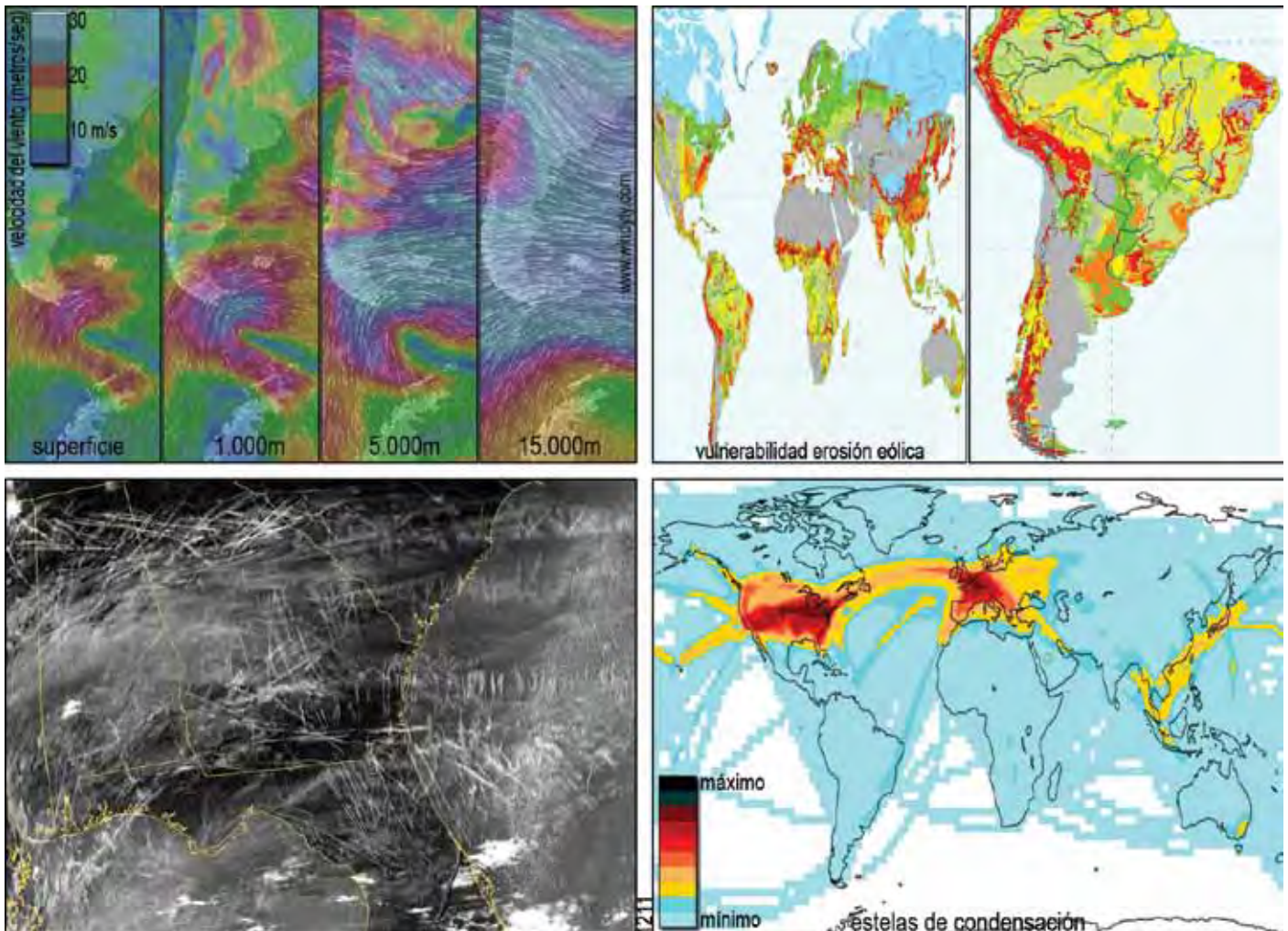
El cambio climático (i): las lluvias a largo plazo

Estelas de condensación. Detrás de los aviones que viajan a gran altitud se pueden formar estelas de condensación. Se consideran un signo visible del impacto humano en el ambiente. La composición es casi idéntica a las nubes delgadas (cirrus). El proceso es el siguiente. El consumo de combustible en la turbina del avión genera agua y otros muchos contaminantes (CO_2 , NO_x , SO_2). Cada tonelada de combustible genera 1,25 t de agua y 3,15 t de CO_2 ; el efecto invernadero del agua es superior al CO_2 . En condiciones de temperatura adecuadas ($-40\text{ }^\circ\text{C}$) a gran altura (10 km) el agua se cristaliza en hielo y estos cristales son el núcleo para que la humedad ambiente forme cirrus. El vórtice en el extremo del ala del avión le da la característica de rectas en el cielo despejado. La humedad del aire afecta la forma y duración de las estelas, de forma que con aire seco duran unos segundos. Con aire húmedo las estelas son de larga duración y se extienden hasta que se vuelven indistinguibles. Mediante satélites se observaron grupos de estelas que duraron hasta 14 horas y que viajaron miles de kilómetros.

Las estelas tienen un impacto en el clima, aunque no sean la base de las lluvias.

Pronóstico de lluvias. Existen varias condiciones propicias para la formación de lluvias. (1) Al calentarse las capas de aire cercanas a la superficie, el aire se hace más ligero y asciende. Esta corriente levanta la humedad que se condensa a gran altura. Se las llama lluvias por convección. (2) Las lluvias orográficas se producen cuando una masa de aire húmedo choca con un relieve montañoso que eleva el aire. Se precipitan lluvias del lado de incidencia (barlovento), mientras que en la ladera opuesta (sotavento) el aire se hace más seco. (3) Las lluvias ciclónicas se producen por el choque de masas de aire frío y cálido. Una cuña de aire frío levanta la masa de aire húmedo y cálido, produciendo vientos y tormentas con el posterior descenso de temperatura.

En la medida que el aire caliente se eleva, se dilata y enfría. Luego



1211. Vientos y estelas. Los vientos tienen un régimen predecible y dispersan los contaminantes naturales y humanos en toda la atmósfera. En la medida que aumenta la altura (arriba-izquierda) la velocidad del viento se incrementa y la dirección se ordena, pasando de remolinos a nivel de superficie a vientos de oeste-a-este a gran altura (llamados *jet stream*). Los vientos de superficie son responsables de la erosión eólica que sufren ciertas zonas del planeta (derecha). Las turbinas de los aviones generan agua y diversos contaminantes que se dispersan en la alta atmósfera y resultan casi invisibles. Las estelas se forman detrás de los aviones a 10 kilómetros de altura cuando las condiciones son apropiadas. Esta contaminación es visible y se refleja en la fotografía satelital (abajo-izquierda). El vapor de agua es el principal contribuyente al efecto invernadero y se concentra en las rutas aéreas (derecha).

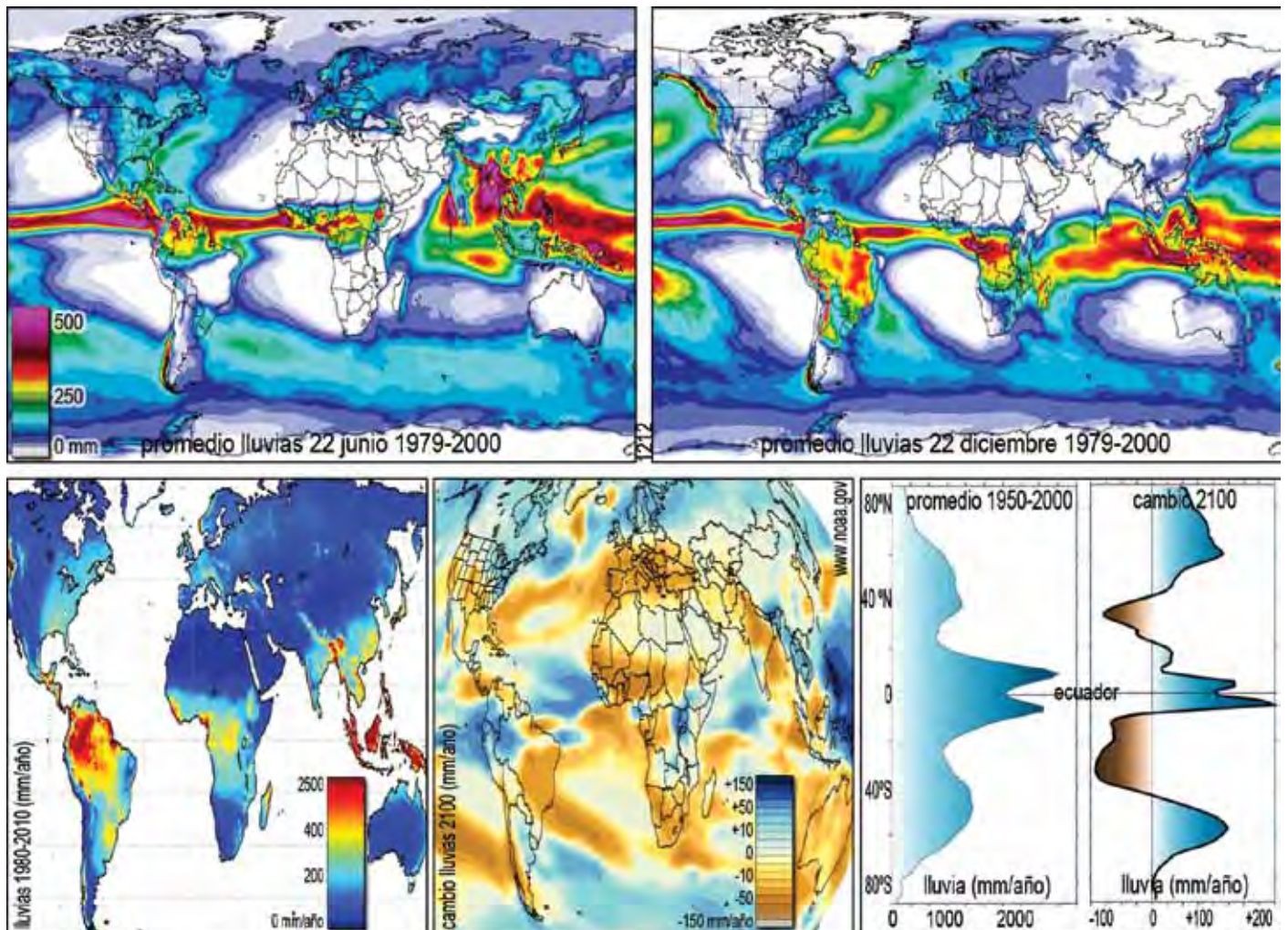
se condensa en aerosoles que sirven de punto de inicio de las gotas. En todos los casos las gotas se congelan y son impulsadas hacia arriba por el aire ascendente. Cuanta mayor altura logran, más frías y grandes se vuelven. Al perder sustentación caen, pudiendo ser impulsadas nuevamente hacia arriba a mitad de camino por otra corriente ascendente. En cada ciclo se vuelven más grandes, hasta que caen dando lugar al granizo de diferente tamaño. Las lluvias se caracterizan por la intensidad (cantidad de agua por unidad de tiempo); duración; frecuencia y distribución temporal y espacial.

Los modelos a largo plazo que predicen la evolución de las lluvias entregan resultados diferentes por regiones. Se tendrán zonas con aumento y otras con disminución de precipitaciones. Serán más frecuentes los climas extremos. Podrían existir cambios profundos si las condiciones de circulación oceánica cambiaran a largo plazo. En las últimas décadas aumentaron las pérdidas económicas debido al clima extremo. El Banco Mundial calculó que las pérdidas en la década de los '80 fueron 50.000 Mus\$/año y 20 años después aumentó a 200.000 Mus\$; con el 75% debido a climas extremos. Para la ciudad de New York, se calculó que un evento extraordinario de inundación (6 m sobre el nivel de la marea) que en el 2010 tiene una proporción de "1 en

100 años", para el 2050 será "1 en 15 años". Es decir, la probabilidad aumentará 6 veces. Con estas perspectivas ¿Podrán seguir desarrollándose las zonas costeras sin límites? ¿Qué ocurrirá con los seguros debido al cambio climático?

Los aerosoles de azufre. El hombre se convirtió en un agente climático. Mientras el CO₂ contribuye al calentamiento de la atmósfera, los óxidos de azufre (aerosoles SO_x) tienden a enfriarla. En la mitad del siglo XX el exceso de los aerosoles colaboró a mantener la temperatura estable, pero la limitación en el uso de azufre, permitió el incremento de la temperatura. Los océanos absorben una parte del CO₂, lo procesan mediante fotosíntesis en algas y fitoplancton y la descomposición genera un elemento estabilizador, el dimetilsulfuro DMS ((CH₃)₂S).

El DMS está presente en el mar, aire, tierra y en todos los seres vivos. Juega un papel esencial en el clima, la salud y en los ecosistemas. El "aroma de mar" es el resultado olfativo de este gas, junto con las feromonas de las algas. Cuando el DMS escapa a la atmósfera sirve de guía para aves y mamíferos (petrel, albatros, focas y tortugas), ya que donde se libera DMS hay actividad trófica y puede obtenerse co-



1212. Lluvias pasadas y futuras. El promedio de Lluvias para las épocas opuestas del año (arriba) muestra las estacionalidades. Por ejemplo, existen zonas desérticas sobre los océanos que se extienden hacia los continentes todo el año (desde el Pacífico oriental al desierto de Atacama). En otros casos se tienen lluvias por estación. Por ejemplo, en el centro de Brasil donde existe una "temporada de lluvias" en verano y otra seca en invierno. Sobre el valor promedio de lluvias en 1980-2010 (abajo-izquierda) se puede indicar la previsión de las zonas con incremento y reducción de lluvias hacia el año 2100 (centro). La región tropical de Sudamérica tendrá una reducción del nivel de lluvias muy apreciable (derecha). En la Argentina se espera más lluvias hacia el norte-este y menos en los Andes y la Patagonia.

mida. Entonces, cuando el fitoplancton es atacado por el zooplancton, libera DMS que atrae a los predadores superiores. Este mecanismo de defensa es conocido en las plantas que al ser consumidas por insectos liberan productos químicos que son detectados por los comedores de insectos.

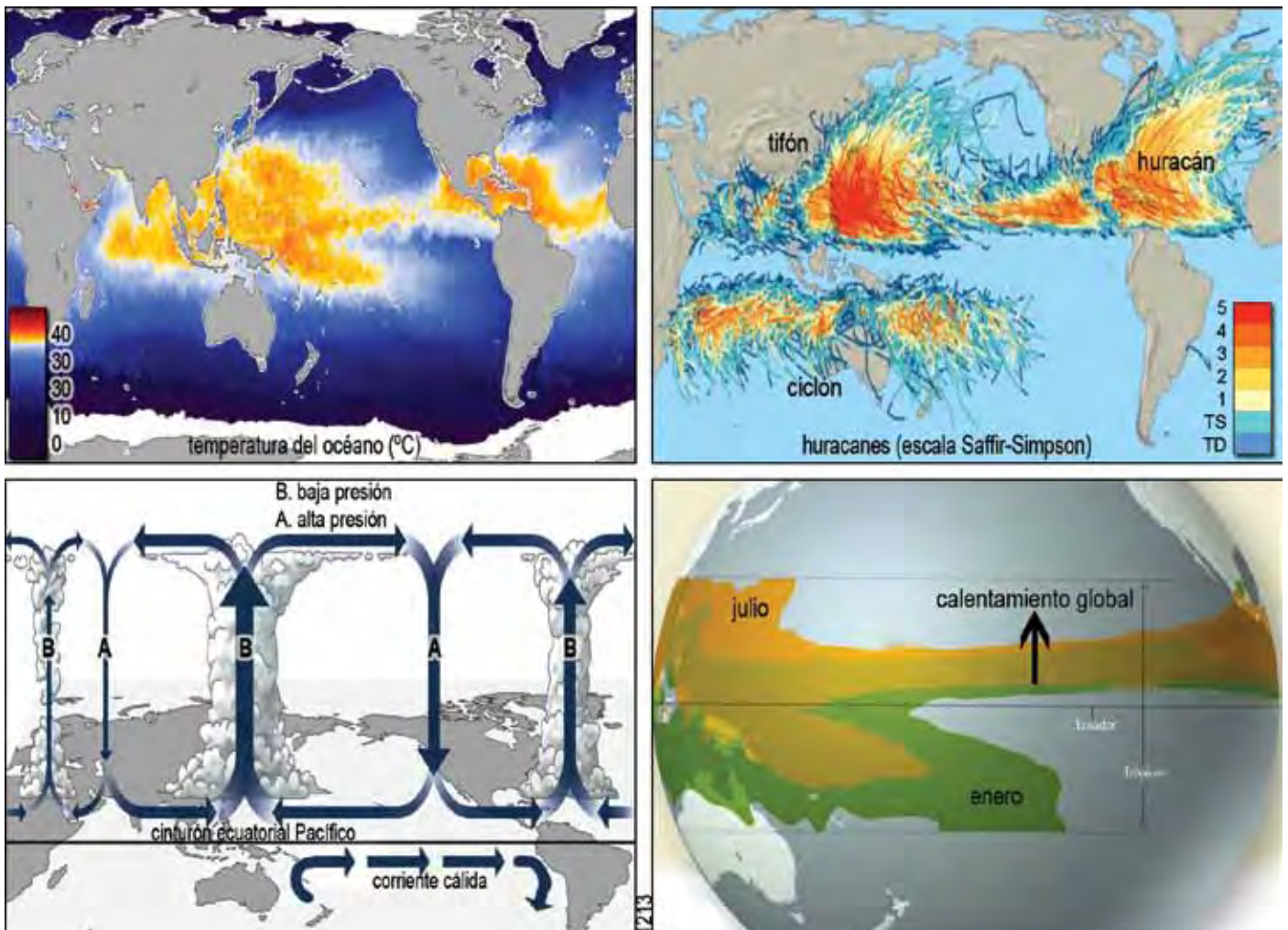
En la atmósfera el DMS participa del clima, donde se oxida por absorción de rayos UV y forma aerosoles de sulfato que reflejan la radiación solar (lo opuesto al CO₂). Además, sirven como núcleo para condensar las gotas de humedad de las nubes. Una disminución de DMS podría reducir la cantidad de nubes y un exceso terminará en la lluvia ácida. Cerrando el ciclo del DMS, desde la atmósfera se deposita en el suelo arrastrado por las lluvias y escurre por los ríos hacia los océanos. La hipótesis de Gaia predice este tipo de regulaciones donde la vida mantiene las condiciones de subsistencia del planeta.

Geoingeniería de lluvias. En la lucha contra el calentamiento global se propuso usar aerosoles de azufre esparciéndolos a gran altura de forma que refleje los rayos del sol. Como esta técnica es muy sencilla, podría ser aplicada casi por cualquiera y abrir la puerta a serios conflictos si un país decide arrogarse el derecho a tener el "termostato del planeta". Se trata de un proceso de ingeniería climática (como la

captura y secuestro de carbono) que eventualmente podría producir sequías o lluvias torrenciales. No existen tratados que prohíban la ingeniería climática y no se conoce como podrían funcionar. Lo que sí existe es la posibilidad geopolítica de conflictos debido a su aplicación unilateral.

En la guerra de Vietnam se usaron técnicas de siembra para extender el ciclo de lluvias. También en Cuba la CIA sembró nubes para arruinar la cosecha de azúcar. En el 2012 un científico independiente esparció cerca de 90 toneladas de sulfuro de hierro en el Pacífico Norte. La idea era generar una explosión de fitoplancton, la mayoría del cual caería al fondo de mar, secuestrando el carbono. Esto se conoce como fertilización o siembra del océano. Se trató de una medida unilateral, autofinanciada, en aguas internacionales y por lo tanto no punibles. Son acciones que, por nuevas, no tienen regulación. Si esta acción causó algún daño colateral, se trata de una fracción de los que causan los residuos humanos que se vierten a los mares. Pero, si se transforma a escala planetaria el potencial de daños podría exceder a los beneficios.

El hierro llega al mar desde los continentes y es usado por el plancton para proliferar. El Río de la Plata es un ejemplo de aporte de



1213. Lluvias y huracanes del Pacífico. La temperatura superficial de los océanos (arriba-izquierda) muestra las zonas que proveen calor para la formación de nubes. Existe una correlación directa entre la ruta de los huracanes (derecha) y la temperatura del océano. La temperatura produce el cinturón de nubes del Pacífico. Se forma debido a la presencia de zonas de alta y baja presión, producto de las corrientes cálidas del océano (abajo-izquierda). El aumento de la temperatura del Océano Pacífico es un indicador de huracanes de mayor magnitud. El cinturón de nubes se mueve hacia el norte con el aumento de la temperatura (derecha) y tendrá consecuencias a largo plazo en las lluvias de América.

minerales al océano. Pero el hemisferio sur tiene poca tierra y mucho océano y el hierro escasea. Las aves marinas consumen zooplancton (krill) que es rico en hierro, pero no lo aprovechan en su totalidad. De esa forma lo excretan y vuelve al fitoplancton. Así, las aves son parte de la regulación del clima, devuelven el hierro en un ciclo corto y no se pierde.

Cinturón de nubes del Pacífico. A nivel global, el planeta está rodeado por 3 coronas de nubes: dos cercanas a los polos (llamadas *jet stream* de oeste a este) y una en la zona de convergencia entre trópicos (cinturón de nubes casi ecuatorial de este a oeste). Este cinturón ecuatorial se forma cuando los vientos del norte y sur crean una zona de baja presión sobre las aguas cálidas. El calor del agua alimenta y anticipa las lluvias y huracanes. El cambio climático afecta al cinturón ecuatorial en el Pacífico desplazándolo hacia el norte. El proceso tiene estados extremos en "La Niña" (temperatura baja y pocas lluvias en la costa de Sudamérica) y "El Niño Jesús" (con alta temperatura y abundantes lluvias).

El corrimiento del cinturón de nubes hacia el norte volverá más seco el clima de los países ecuatoriales de Sudamérica, mientras que en Centroamérica se espera un incremento de las lluvias. En Norteamérica las zonas desérticas de México se correrán hacia el norte afectando la agricultura norteamericana. Los huracanes tropicales siguen direcciones precisas y deberán aumentar en intensidad debido a que obtienen su fuerza por extracción del calor oceánico. Pero, una gran tormenta deja el océano más frío e impide que se forme otra tormenta grande por algún tiempo. Por eso se estiman temporales más fuertes y no un aumento en la cantidad.

Argentina: las lluvias. En la segunda mitad del siglo pasado, las lluvias se caracterizaron por un aumento del valor promedio anual;

el aumento de las lluvias extremas; incremento de temperatura en la cordillera y la Patagonia; así como el retroceso de los caudales de los ríos en San Juan, Mendoza y el Comahue. Los salares y desiertos de la frontera de la Argentina, Chile y Bolivia son la prolongación del desierto del Pacífico. Toda esta región sin lluvias se propagará hacia el sur en este siglo. También se elevó la isoterma de 0 °C cordillerana, lo que produjo el retroceso de los glaciares y la reducción de las reservas de agua para el piedemonte cuyano. Para las próximas décadas se espera una reducción del cauce en la Cuenca del Plata por aumento de la evaporación; el aumento del stress hídrico en el norte por picos de temperatura; la reducción de nieve en la cordillera; una potencial crisis de agua en Mendoza y San Juan y la disminución de generación hidroeléctrica en el Comahue. Se espera que continúe el retroceso de los glaciares y el stress del permafrost del periglacial. La costa exterior del Río de la Plata (Península de Samborombón) podría inundarse por el incremento del nivel del mar. La agricultura de secano sufrirá de stress debido a la evaporación y se beneficiará el cultivo de soja y otros organismos transgénicos.

Un cambio similar al cinturón de lluvias ecuatorial ocurre en el extremo sur de Sudamérica. Se observa un corrimiento hacia el sur de las lluvias y se lo relaciona con el hueco en la capa de ozono y la corona de vientos antárticos. El hueco de ozono y la corona de vientos aíslan a la Antártida en el centro del vórtice. Para conocer la conducta del clima en el pasado se estudian indicios indirectos. Por ejemplo, para el cinturón de lluvias en el Pacífico se estudiaron algas de las islas del Pacífico. Las algas obtienen hidrógeno del agua y la proporción de isótopos es un indicador de la cantidad de lluvias. En tanto, la proporción de isótopos del carbono es un indicador de la edad de la muestra. Para el extremo sur del continente, se estudiaron los anillos de crecimiento de los centenarios árboles patagónicos, con lo que se observó la reducción de las lluvias.

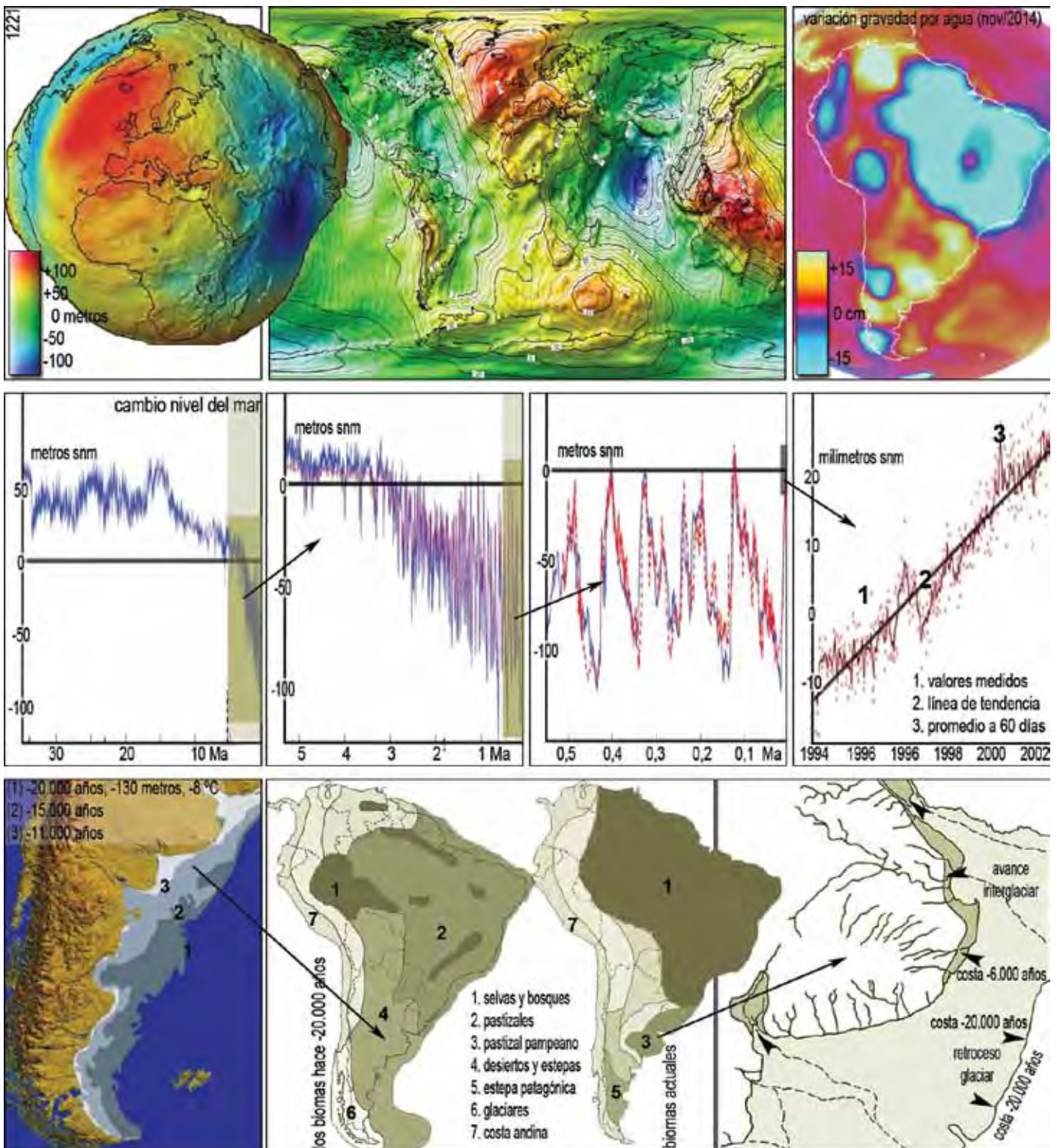
El cambio climático (ii): el aumento del nivel del mar

El geoide. La Tierra no es una esfera, es un geoide. Si se quitan los continentes y se dispone un océano imaginario sobre todo el planeta, se debería tener una esfera perfecta. Pero no es así, porque la gravedad diferencial (debido a la composición del interior) genera un geoide. El geoide sirve de referencia para medir la circulación oceánica, los cambios del nivel del mar y la dinámica del hielo. La altura de este nivel del mar varía hasta 100 m (medidos por el satélite GOCE) en distintas partes del planeta. El punto de menor gravedad y por lo tanto el más alto, está al sur de la India. La cordillera de los Andes y Australia se encuentran en zonas de gravedad alta y por lo tanto están hundidas.

Sobre este geoide se suman otras influencias de corto, mediano y largo plazo. A corto plazo se tienen las mareas, producto de la luna y estrellas (incluido el sol) que no solo afectan al agua, sino a toda la Tierra. También los vientos, la temperatura (el aumento dilata el volumen del agua) y la presión atmosférica (global y local). A mediano plazo se tienen los efectos de las corrientes oceánicas (oscilaciones como El Niño), el volumen de hielo inmovilizado en los glaciares; el agua transitoria en los continentes (lagos y ríos). A largo plazo se com-

puta la configuración de los continentes (terremotos y tsunamis) y la configuración del fondo marino, donde las cuencas oceánicas generan fosas profundas que absorben mayor volumen de agua. También, se deben corregir los movimientos verticales de los continentes debidos a ajustes isostáticos del manto terrestre (los continentes "flotan" sobre las capas inferiores de la Tierra). Así, el peso del hielo deprime el terreno y con el calentamiento se produce el movimiento eustático (ajuste posglaciar hacia arriba). En la historia de la Tierra el nivel del mar sufrió cambios de hasta más de 250 m por encima del valor actual.

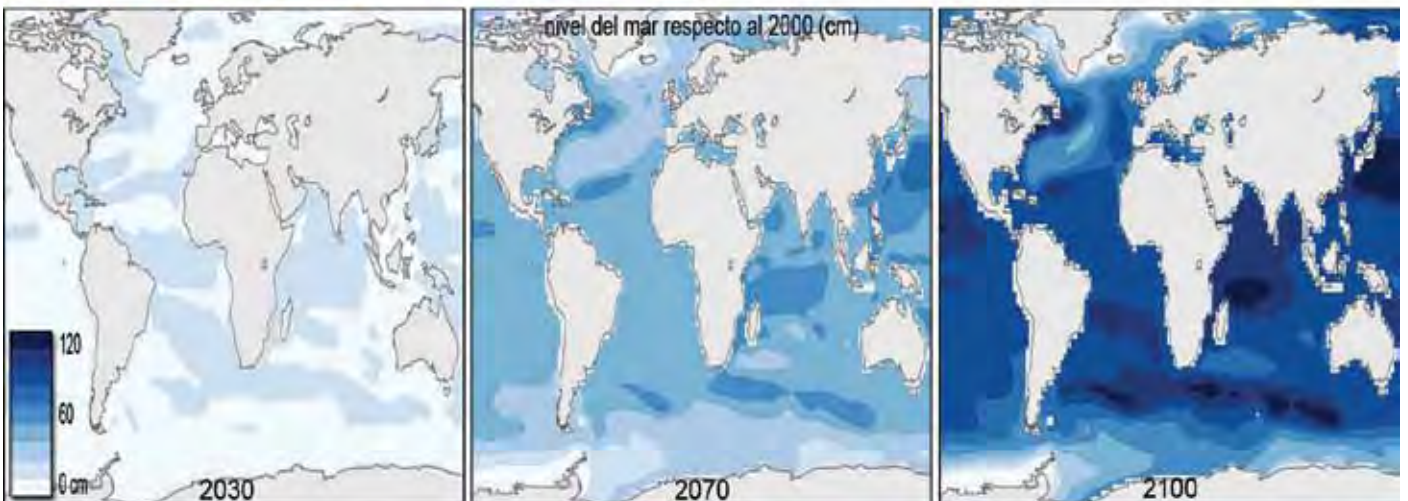
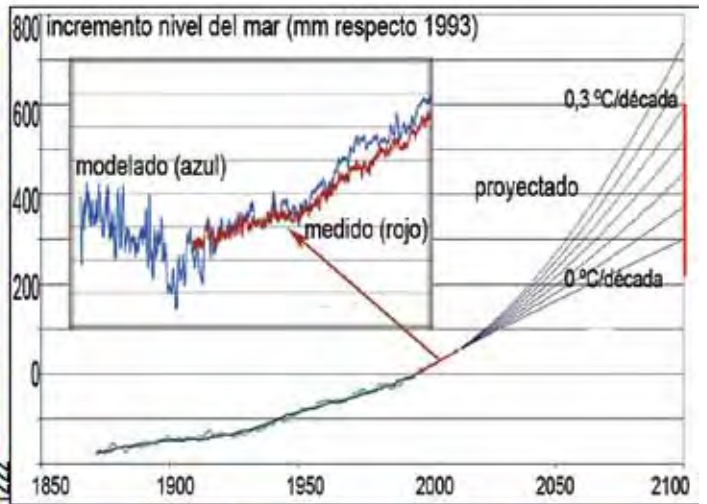
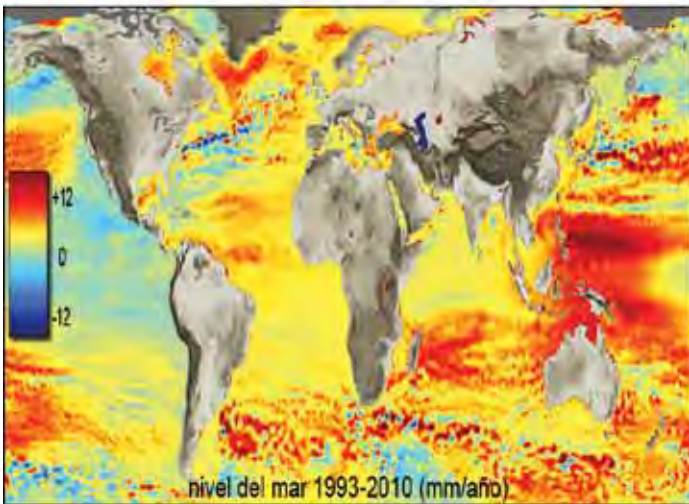
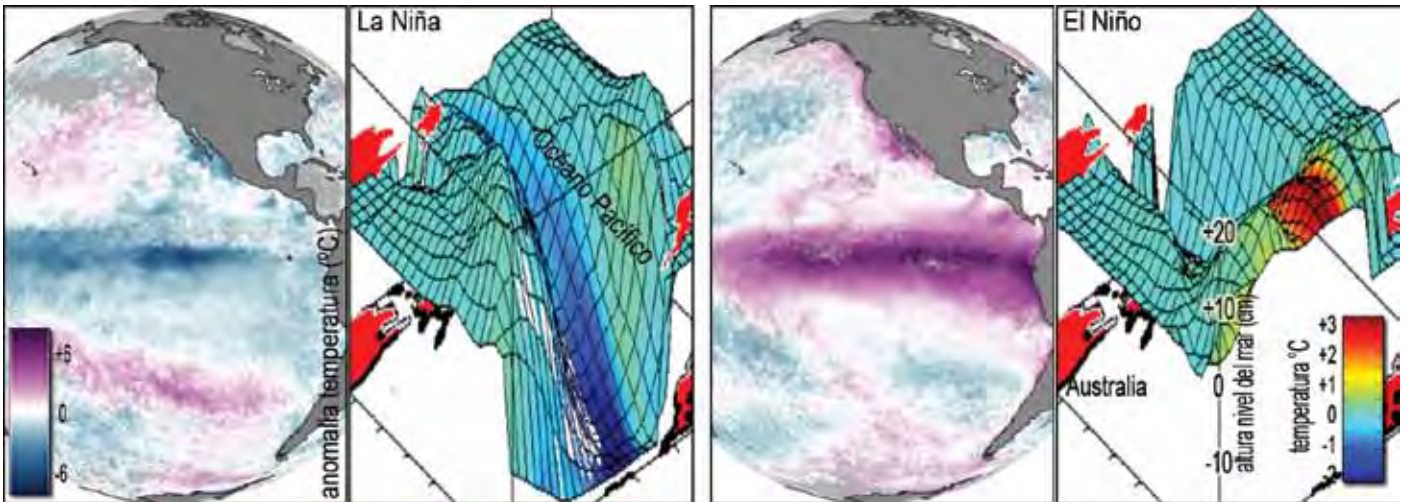
El ascenso del mar. El nivel del mar se define respecto a un promedio sobre un período largo para alisar las fluctuaciones. Luego de décadas de investigaciones se sabe que en los últimos 3 Ma ciertos eventos llegaron a 6 metros de incremento del nivel del mar con correlaciones de solo 2 °C de temperatura. En tiempos recientes el mar aumentó 20 cm en el período 1870-2004, con promedio en 1,46 mm/año. Pero en 1993-2009 el promedio subió a 3,3 mm/año. La principal causa es el derretimiento de los glaciares. El balance indica que unos 8 mm/año de agua pasan desde los océanos a la Antártida y Groenlandia (por la escarcha y nieve). Luego retornan en forma de



1221. La Tierra y el nivel del mar. La altura del nivel del mar (como una bola de agua sin continentes) muestra una esfera con fluctuaciones (se llama geoid). La Tierra (arriba-izquierda y centro) está modelada por una gravedad variable del interior y la fuerza centrífuga. Por ejemplo, la región andina está más elevada que el promedio (color rojo). Sobre el geoid se mide el nivel del mar. Se suman variaciones suaves por acumulación de agua en el subsuelo (derecha). Téngase en cuenta la escala de +100/-100 m en el geoid y +15/-15 cm en las variaciones temporales. El nivel del mar en los últimos 30 Ma referido al nivel actual (centro) muestra fluctuaciones frecuentes. En el presente (derecha) se observa una tendencia de aumento de 3 mm/año. Las causas del aumento son: explotación de agua desde acuíferos, glaciares y permafrost; hundimiento de los deltas; cambios en la circulación oceánica; fuertes tormentas (efecto a corto plazo); aumento de la temperatura del agua (expansión en volumen); reducción del hielo en los polos. Hace 20.000 años (última era glacial), la costa y los biomas en Sudamérica estaban modelados por -8°C y -130 m del nivel del mar respecto del actual (abajo-izquierda). La costa del Mar Argentino se había retirado hacia el interior del Atlántico; las selvas amazónicas y bosques tropicales se redujeron a un mínimo; los pastizales y la estepa se expandieron y los glaciares cubrían los Andes en su totalidad. Hace 6.000 años (derecha) la costa atlántica entraba en la bahía de Samborombón. En simultáneo, la zona del Lago Titicaca hace 20.000 años era más fresca y húmeda. Desbordó la cuenca y el agua se derramó en el altiplano sur, formando lagos de agua dulce (actuales salares). Hace 6.000 años se tenía condiciones secas y el Titicaca cayó a la mitad de su nivel actual.

icebergs y como fusión de los bordes glaciares. La pérdida de glaciares a nivel global en el período 1902-2009 contribuyó a un aumento de 11 cm en el nivel del mar. En la Antártida el incremento fue 2 cm más

que el promedio, porque la pérdida de plataformas de hielo redujo la salinidad del agua (agua menos densa). Un efecto local similar, pero de otro origen, se observa en "el niño". Cuando se produce un aumento



1222. Tendencia a futuro del nivel del mar. En el Pacífico, la variación de temperatura del agua en -5 a $+5$ °C entre extremos, produce un cambio del nivel del mar entre -20 y $+20$ cm en total. El efecto se encuentra contenido en lo que se conoce como La Niña (arriba-izquierda) con baja temperatura en la costa americana del Pacífico y El Niño (derecha) con alta temperatura. El calor aumenta el volumen del agua de forma que entre extremos se tienen los 40 cm de variación. Esto se suma a las fuertes tormentas y ponen en peligro las costas. El calentamiento global intensifica la temperatura del Pacífico y se acumulará con la mayor variación del nivel del mar debido al derretimiento de los glaciares y polos. El nivel del mar en las últimas décadas se incrementó en forma irregular (centro-izquierda). Casi no hay zonas donde disminuyó el nivel (azul). La tendencia es hacia el aumento de la altura en promedio (derecha) con zonas de mayor incidencia, como el Pacífico Occidental. Hacia el futuro, las proyecciones indican un incremento en forma diferencial en distintos lugares del planeta (abajo). Las zonas oscuras son las que más altura tomarán hacia el año 2100 (derecha) con un máximo de hasta 120 cm.

un planeta

de temperatura del agua en el este del Pacífico, no solo aumentan las lluvias en Sudamérica, sino que también dilata el volumen del agua de mar.

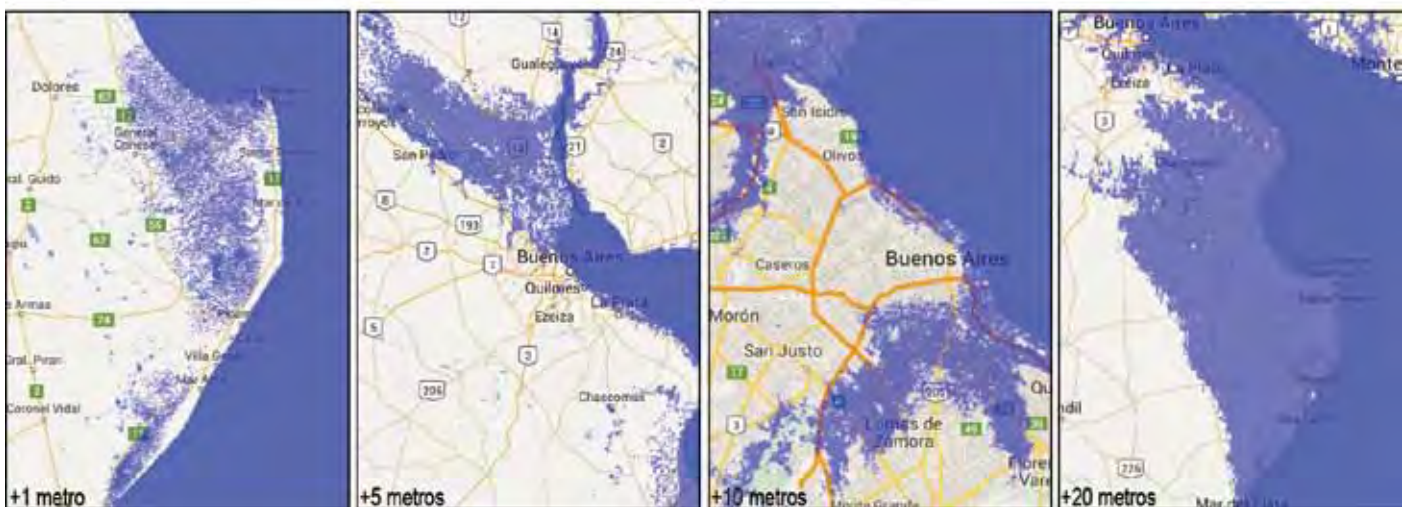
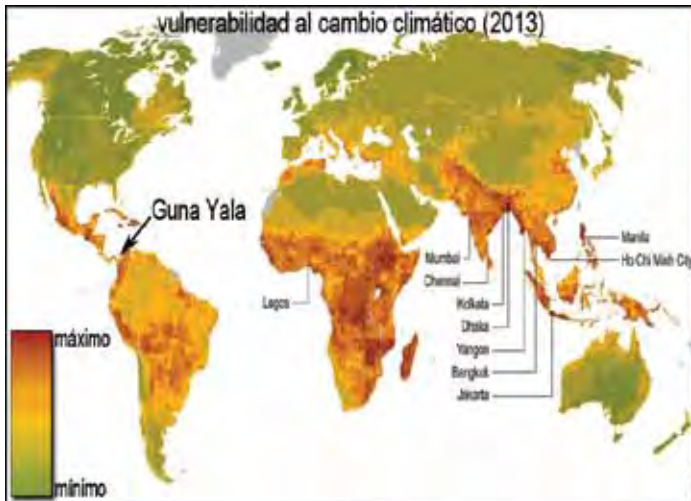
En los glaciares de Groenlandia se midieron aumentos importantes en la velocidad de movimiento hacia el mar, lo que hace que adelgacen y retrocedan. En el 2005 se reportó que el glaciar Kangerdlugssuaq (frente a Islandia) se movió hacia el mar 3 veces más rápido que una década atrás. Este glaciar, tiene cerca de 1 km de espesor, un ancho de 7,2 km, y drena cerca del 4% del hielo de Groenlandia. En el 1988-96 la velocidad era de 5 km/año y aceleró en el 2005 a 14 km/año. La fusión completa de Groenlandia aumentaría el nivel del mar en 7 m, lo cual podría ocurrir en el largo plazo (1.500 años). Las zonas altas tienen cambios muy lentos pero las bajas reaccionan más rápido, tal es el caso del permafrost que está a nivel del mar. Las cumbres de Groenlandia están a 3.200 m de altura con una temperatura media anual de $-32\text{ }^{\circ}\text{C}$; de forma que un ascenso de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ casi no las afecta.

La Antártida es aún más lenta en su reacción. Se estima que todo el hielo de la criósfera en la Antártida elevaría el nivel del mar en 60 m. La pérdida total de Antártida ocurriría solo en varios milenios. Los cál-

culos se pueden acelerar considerando la posibilidad del flujo de agua de deshielo por debajo de los glaciares lo que lubrica el movimiento. En el 2005 se reportó que durante el período 1992-2003, la Antártida Oriental se engrosó con una tasa de 18 mm/año mientras en la Antártida Occidental adelgazó en 9 mm/año. Esto es producto de la altura del terreno sumergido bajo el hielo.

En las proyecciones del IPCC-2007 el nivel del mar en el 2100 aumentará de 19 a 58 cm. Se espera que el aumento del nivel del mar no sea uniforme en todo el planeta. Ciudades como Londres y Nueva Orleans aumentaron las defensas debido a incrementos de las tormentas; pero, se enfrentarán también al incremento del nivel del mar y al hundimiento de la tierra. El IPCC ya advirtió que las Maldivas serán inhabitables en el 2100.

Impacto ambiental. El mayor impacto será en los sistemas costeros con un incremento en la erosión del litoral; cambios en la calidad del agua superficial y sus características en profundidad; pérdidas de hábitats litorales; incremento del riesgo de inundación; impactos en la agricultura y acuicultura; pérdida de valores culturales; pérdidas del turismo y recreación; cambios en el transporte; etc.



1223. Vulnerabilidad de las costas. El calentamiento global pone en riesgo a los territorios interiores por efecto de la temperatura y las ciudades costeras por aumento del nivel del mar (arriba-izquierda). Algunas comunidades ya están sufriendo el aumento del nivel del mar y muchas islas del Pacífico serán inhabitables a fin de siglo. En el Mar Caribe, las islas de Panamá de la etnia Guna Yala (derecha) deben ser abandonadas progresivamente. El aumento del nivel del mar en la costa de Buenos Aires muestra que a fines de este siglo, con +1 m sobre el nivel actual, afectará a todo el sur de la bahía de Samborombón (abajo). Más adelante en los próximos siglos, con +5 m el Delta de Paraná puede llegar a desaparecer. Con +10 m el sur del Gran Buenos Aires estará seriamente afectado y con +20 m el efecto se expande a toda la costa de la provincia.

En el 2007 se reportaron 634 millones de habitantes en áreas litorales dentro de los 9 m sobre el nivel del mar. Cerca del 60% de las ciudades con más de 5 millones están en este margen. La fusión de los campos de hielo del Himalaya aumentaría las inundaciones y mareas durante la temporada de ciclones. Un ascenso del nivel del mar de 40 cm en la Bahía de Bengala inundaría un 11% de las tierras litorales de Bangladesh, creando hasta 10 millones refugiados climáticos. El aumento del nivel del mar y el hundimiento en algunos deltas de ríos está causando pérdidas de tierras.

Los estados insulares aparecen como los primeros afectados. En Panamá hay unos 35.000 indígenas de la etnia Guna Yala que hace 150 años emigraron desde los bosques panameños continentales a un archipiélago de 360 islas en el Mar Caribe. La subida del nivel del mar está obligando a una lenta migración hacia tierra firme de los habitantes de este pueblo insular. Hoy viven dependientes de la pesca, la agricultura y el turismo. Pero los vientos alisios, sumado a las mareas crecientes, producen las peores inundaciones. El gobierno panameño colabora para el traslado ordenado, mediante infraestructura en salud, educación, seguridad, tendido eléctrico, etc.

Las islas del Pacífico sufrirán el efecto combinado del incremento del nivel del mar y la erosión del terreno por el clima extremo. Un

aspecto poco conocido es que la desaparición de las islas bajo el mar eliminará los derechos sobre el área circundante. Así, los derechos de explotación de recursos en un radio de 200 millas náuticas (370 kilómetros) podrían quedar liberados.

El caso: "Delta del Paraná". Entre 5.300 y 1.700 años atrás el delta del río Paraná era una zona árida de 17.400 km². Fue un período dominado por el oleaje que entraba por río de la Plata que coincidió con un evento de aridez registrado en la llanura pampeana. Se reactivaron las dunas y la erosión de suelos, lo que coincide con la escasez de restos aborígenes prehistóricos. El mejoramiento climático posterior hace 1.700 años favoreció el repoblamiento del delta y la región. Este evento cercano nos muestra la dependencia del clima. El escenario de clima cálido y húmedo favorece la actividad humana en la región, mientras que un enfriamiento nos llevaría a un escenario de aridez, que debido a la falta de sistemas de irrigación artificial de los suelos complicaría la actividad agropecuaria. El delta del Paraná está protegido de la acción marina y conserva un área de cordones costeros que permiten reconstruir como fueron las fluctuaciones de este ambiente de transición. El delta actual comenzó a desarrollarse luego del último ingreso del mar hace 6.000 años cuando alcanzó una altura de 5 m por encima del nivel actual y llegó a la ciudad de Diamante (Entre Ríos).

El cambio climático (iii): las corrientes oceánicas

Corriente termohalina. En oceanografía física se llama así a una parte de las corrientes oceánicas que forma un circuito cerrado. Similar a una "cinta transportadora", se mantiene en movimiento por la diferencia de densidad del agua de mar, producto de los gradientes de temperatura y salinidad con la profundidad. En el efecto termohalino (térmico-salino) las aguas más densas se hunden por gravedad y la densidad depende de la temperatura y salinidad. La densidad aumenta si temperatura disminuye (menor volumen del agua) o si la salinidad aumenta (mayor peso). La corriente termohalina garantiza el flujo neto de calor desde las regiones tropicales hacia las polares e influye en el clima terrestre. Por ejemplo, las lluvias de enero 2015 en el norte-este de la Argentina, se debieron a un aumento en la temperatura de la corriente cálida del Atlántico que proviene del Índico.

El recorrido completo de la cinta, incluyendo el Pacífico Norte, lleva unos 1.600 años a una velocidad promedio de 10 cm/s y con un volumen de agua cercano a 100 veces el caudal del río Amazonas. Se produce un considerable grado de mezcla (subcorrientes y vórtices) reduciendo las diferencias entre océanos y convirtiendo a la cinta en un sistema global. Las masas de agua transportan energía (calor) y materia (sólidos, sustancias disueltas y gases). Además, las corrientes polares frías y profundas bombean oxígeno al fondo de los océanos y el choque de corrientes genera vórtices que favorecen el florecimiento de fitoplancton.

El viaje sobre la "cinta transportadora" se inicia en la Antártida, la que se encuentra "aislada" por una corriente circular que ocurre desde hace 34 Ma (millones de años). En aquel momento se separó la Península Antártica de Sudamérica y desde entonces la corriente circular

garantiza la estabilidad térmica a largo plazo de la Antártida. Desde la corriente antártica una rama sube por el Pacífico y se calienta en su recorrido ecuatorial. Aumenta la temperatura mientras recorre el Índico hasta el Atlántico. Cuando la corriente superficial cálida llega al Atlántico sube por la costa oeste (Corriente del Golfo) enfriándose en el recorrido, calentando a Europa y hundiéndose a latitudes cercanas al polo norte. En ese lugar forma una masa de agua salada, fría y profunda que retorna al ecuador y vuelve sobre la corriente antártica. En el Ártico las condiciones son muy diferentes a la Antártida debido a que no hay una corriente circumpolar y se tiene un clima más inestable que se evidencia en un cambio climático diferente entre el Ártico y la Antártida.

En el Atlántico Norte la temperatura continental está gobernada por los vientos circumpolares que soplan desde oeste-a-este. Este viento evapora el agua superficial de la corriente del golfo, calienta el aire y reduce la temperatura del agua. Los vientos calientes se dirigen a Europa y le ofrecen un clima templado (comparado con Siberia). La evaporación del océano también provoca un aumento en la concentración de sales en el agua. En el Ártico la formación de hielo separa el agua dulce que forma la lluvia y nieve de la salmuera disuelta que queda en el océano. Así, más frías y saladas (más densas), las aguas se hunden por gravedad hacia el fondo y son empujadas hacia el sur en un largo camino de retorno (es el motor de la "cinta"). Las aguas cálidas superficiales llegan a 25 °C y las frías profundas a -0,5 °C, pero existen corrientes intermedias con distinta cotas de temperatura, profundidad y dirección.

Europa en riesgo. La Teoría de Tectónica de Placas explica cómo ocurrió la Deriva Continental a lo largo de la historia de la Tierra. La

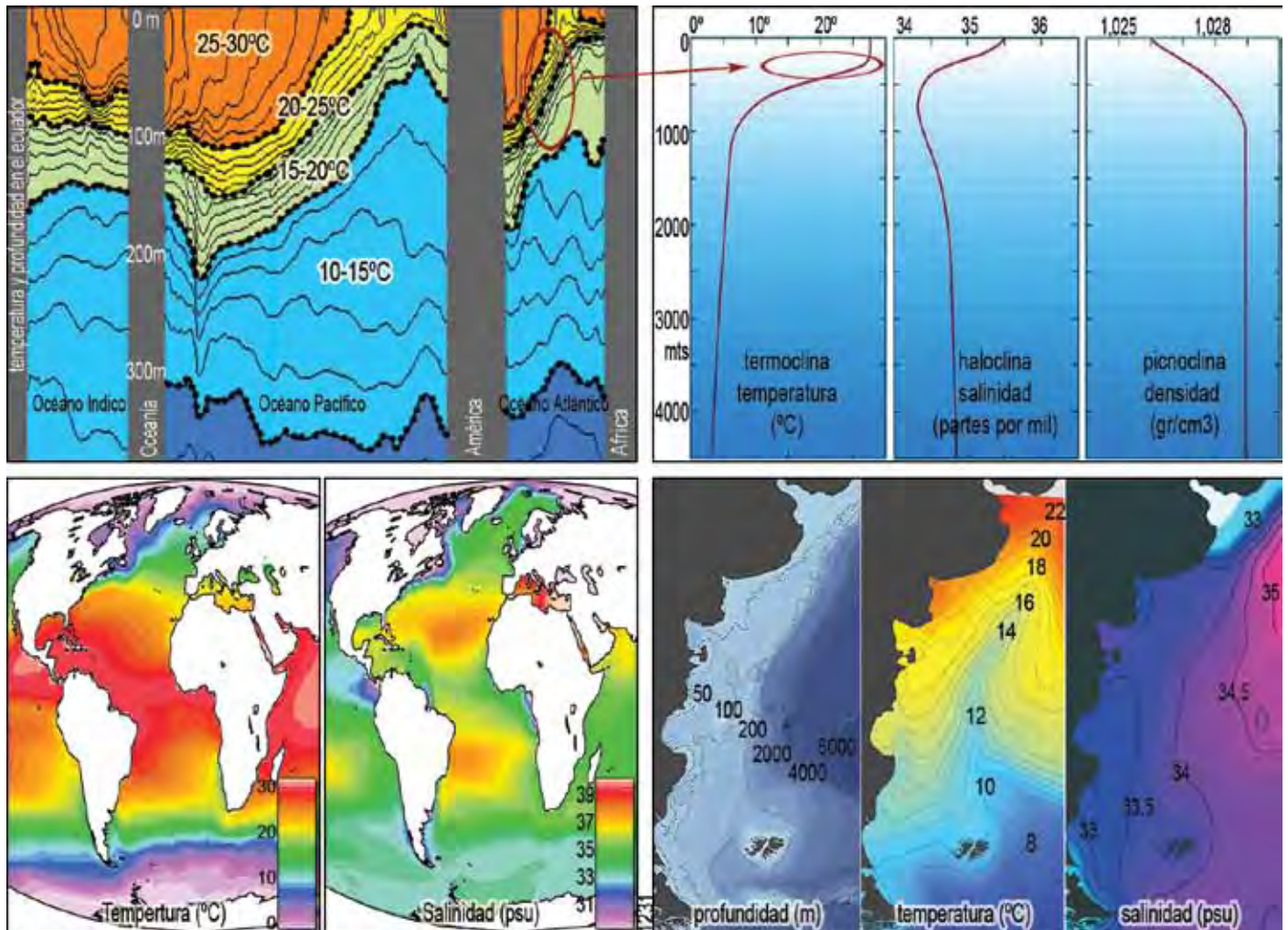
configuración de los continentes modifica a las corrientes oceánicas y esto afecta al clima. El clima es una causa frecuente del auge y caída de los ecosistemas. Por ejemplo, un acontecimiento disruptivo ocurrió hace 5 Ma cuando se generó el Istmo de Panamá. Esto cambió las corrientes oceánicas dando lugar a las glaciaciones del hemisferio norte desde hace 2,7 Ma. En el Plioceno (hace 5,3-2,6 Ma) América del Norte y Sur no estaban interconectadas. La Corriente del Golfo en el Atlántico era más débil, pero lograba entrar en el Ártico manteniéndolo descongelado. Con el cierre del Istmo de Panamá, se abrió una puerta para la migración cruzada de especies entre ambos subcontinentes afectando la biodiversidad (la más afectada fue la sudamericana por las especies norteamericanas). En tanto, la Corriente del Golfo aumentó en caudal, pero también en salinidad y se hundió al llegar al polo norte. Como resultado el Océano Ártico se congeló.

En este siglo, se espera una reducción significativa de la masa de hielo polar y quizás su pérdida total en verano. El incremento del flujo de agua dulce reducirá la salinidad y podría impedir que el agua fría se hunda. Afectará a la circulación oceánica, con un debilitamiento o quizás el colapso en la circulación termohalina. En el período 1992-2002 se midió una reducción en la velocidad de la corriente en el At-

lántico Norte. De persistir tendría varias consecuencias: descenso de temperatura en Europa, con condiciones similares a la actual Rusia; en Norteamérica un clima más frío, seco y ventoso; en África el clima sería más seco y el Atlántico Sur más cálido.

Eventos similares ya ocurrieron en otras oportunidades. Hace unos 8.000 años se produjo un caso de enfriamiento abrupto (entre 1 y 5 °C) con una duración de algunos siglos. Probablemente fue producto del drenaje de los glaciares del Ártico que afectó la corriente termohalina. En Groenlandia comenzó hace 8.200 años con una caída de temperatura de 3,3 °C en menos de 20 años y el sistema se recuperó en 150 años. Durante 300 años el CO₂ se redujo en 25 ppm. En África Oriental siguieron 500 años de sequía general.

En la Antártida, la acumulación de agua dulce en la superficie del océano (por deshielo y lluvia) puede afectar al motor termohalino. El motor es una corriente fría profunda ("antártica de fondo") que se dirige al norte en el Atlántico y que empuja hacia arriba la corriente fría que proviene desde el Ártico ("atlántica profunda"). Esta corriente llega a la superficie y vuelve parcialmente al norte por la superficie. La corriente de fondo aporta oxígeno y nutrientes. Se



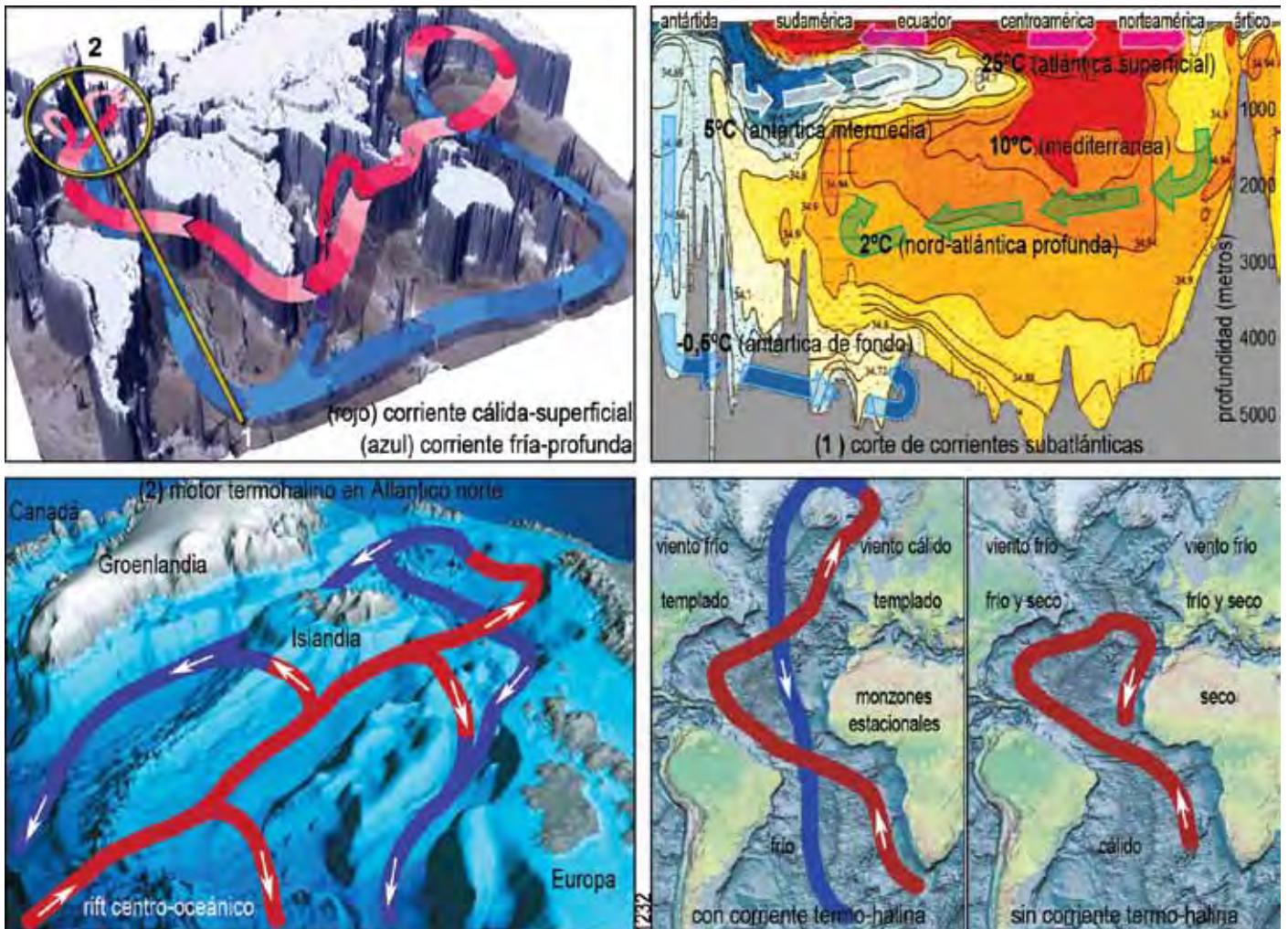
1231. Las variables oceánicas. La variación de temperatura, densidad y salinidad del océano en función de la profundidad tiene una diferencia marcada en los primeros 1.000 metros (arriba). A nivel ecuatorial las líneas de igual temperatura (isotermas) varían de acuerdo con el océano: por ejemplo, el Pacífico Occidental es más caliente en condiciones normales (izquierda). La temperatura y salinidad son las variables más importantes para la actividad de las corrientes oceánicas (abajo-izquierda). Frente a la costa de la Argentina se delimita una región de interacción entre corrientes marinas con variables opuestas y que produce gran actividad biológica de plancton.

denomina "polinias" a las zonas de agua líquida que está rodeada de hielo cerca de la Antártida. Estas áreas perjudican a la generación de corrientes termohalinas en el borde de la Antártida. Una acumulación de agua superficial menos salada puede reducir la fuerza del motor termohalino.

Argentina: la plataforma continental. El Atlántico tiene el 29% del área de los océanos, pero absorbe el 38% del CO₂. Esto se debe a la intensa circulación y al intercambio de corrientes en el norte donde se genera la mayor cantidad de CO₂ antropogénico del planeta. En el Mar Argentino (Atlántico Sur Occidental) se enfrentan dos corrientes. Una es cálida y superficial, que baja desde el norte (Brasil) y es cercana a la costa. La otra es fría, profunda y se desprende desde la corriente antártica al sur y cuando choca contra el talud de la plataforma continental asciende desde -5000 metros bajo el nivel del mar hasta -1000 mbnm. Lleva nutrientes que alimentan el fitoplancton de la superficie. Además, el Río de la Plata aporta depósitos de nitrógeno y sedimentos de hierro continentales. El choque de aguas cálidas y frías, sazonado con nutrientes del Río de la Plata y del talud, se activa con la radiación solar del verano. Así florece el coctel microscópico de fitoplancton, el cual se convierte en sustento para el zooplancton

y el resto de la cadena trófica. El fitoplancton está poblado de plantas unicelulares que forman escamas de calcita (cocolitofóridos) y algas unicelulares con paredes de sílice y que se agrupan en colonias como cintas (diatomeas).

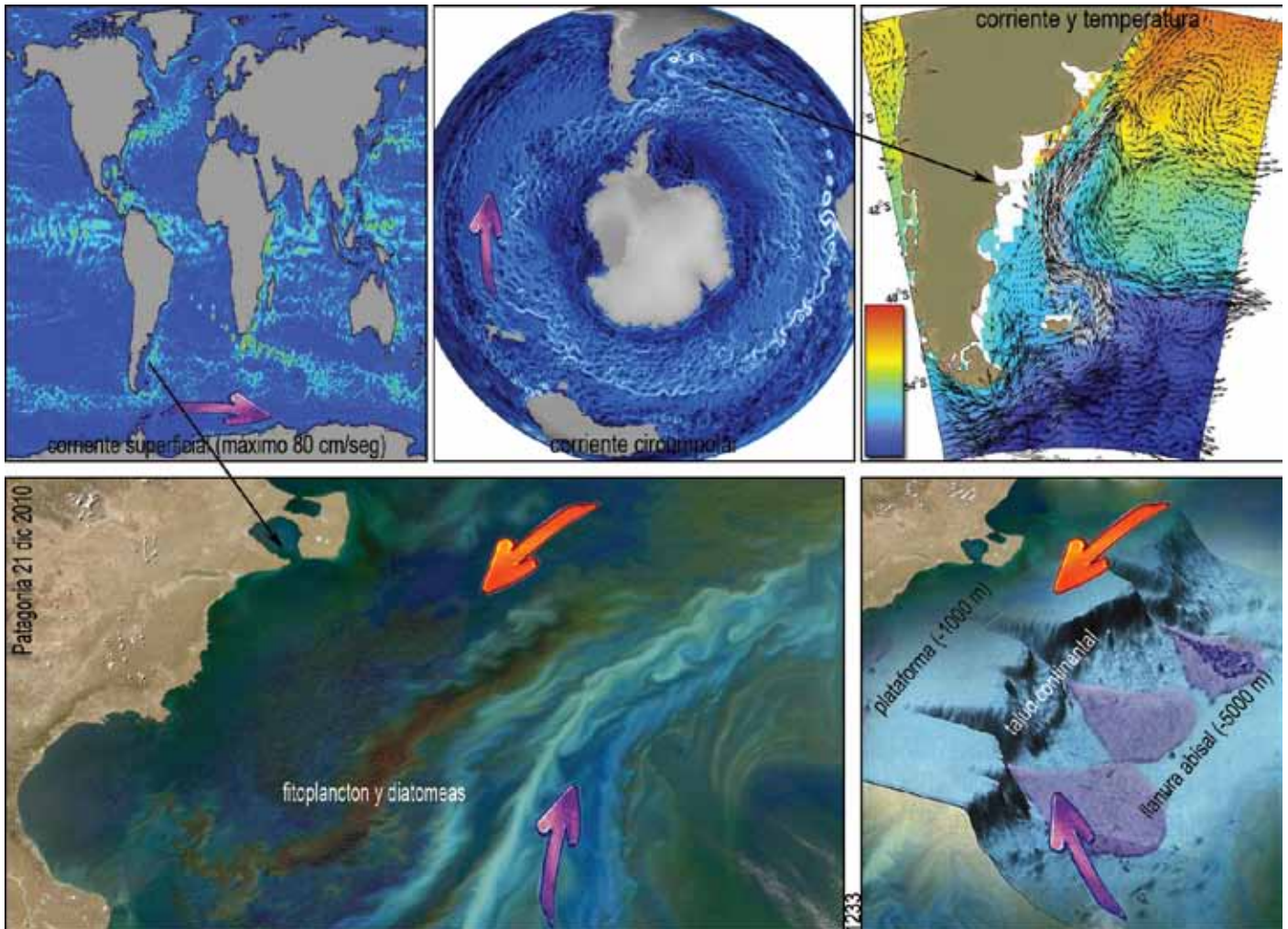
La plataforma continental patagónica es una de las áreas oceánicas de mayor absorción de CO₂. El CO₂ en el mar se absorbe en los primeros 100 m de profundidad donde llega la luz solar y se reproduce el fitoplancton. Esta zona tiene una capacidad de absorción 4 veces superior al promedio de los océanos. El fitoplancton absorbe el CO₂ y cuando muere transfieren una cuarta parte del carbono al fondo del océano. En el proceso proporcionan el 50% del oxígeno del planeta. El fitoplancton requiere hierro (Fe) para crecer y la ausencia genera aguas muertas, sin capacidad para absorber CO₂ (es el 30% de la superficie oceánica). La siembra de Fe es una técnica de ingeniería climática para el secuestro de carbono en el mar. Las diatomeas (*Rhizosolenia*) son un grupo de fitoplancton que está en declive. Una de las causas son los rayos UV en los mares antárticos que llegan al mar por el hueco en la capa de ozono. Los UV de 400-320 nm (nanómetros) son filtrados por pigmentos de las algas, pero los UV de 320-280 nm modifican su ADN y pueden ser letales.



1232. El motor de las corrientes oceánicas. La denominada "cinta transportadora" es un circuito cerrado de corrientes marinas que involucra a todos los océanos (arriba-izquierda). Las corrientes en el Atlántico se estratifican en profundidad, con distintas temperaturas y direcciones (derecha). El "motor termohalino" se encuentra en la Corriente del Golfo (Atlántico Norte) que es cálida y se enfría por evaporación del calor, hundiéndose por el aumento de la salinidad y retornando al ecuador (abajo-izquierda). Si se interrumpe este motor, que es alimentado por la diferencia de temperatura y salinidad, se tendrían consecuencias dramáticas en el clima de todo el planeta (derecha). El riesgo se da por la posible pérdida total del hielo del Ártico.

Del estudio de 450.000 datos históricos entre 1899 y 2008, se comprendió que la producción de fitoplancton mundial desciende a un ritmo de 1% anual y un total del 40% desde 1950 (fecha desde la cual se poseen datos más precisos). El incremento de la temperatura super-

ficial reduce la producción de clorofila. Otra razón que se suma es la pesca, que desbalancea la cadena trófica, al reducir el número de peces aumenta el zooplancton y disminuye el fitoplancton. Esta reducción produce una menor fijación de CO₂ y liberación de oxígeno.



1233. Corriente en el Mar Argentino. Las corrientes oceánicas dependen de la configuración de los continentes. La posición de la Antártida genera una corriente circular en el sentido de las agujas del reloj (arriba) que no existe en el hemisferio norte. Esto se suma a la corriente de aire en igual sentido y colabora a mantener a la Antártida aislada del resto del planeta. Es una de las causas de que el hueco de ozono tenga una forma circular. La fotografía del satélite Aqua de la NASA (abajo-izquierda) muestra el florecimiento de fitoplancton frente a Patagonia el 21-dic-2010. La conjunción de una corriente costera, cálida, salada y superficial desde Brasil al norte y otra corriente fría, profunda en ascenso desde la Antártida al sur, hace del Mar Argentino una de las más importantes zonas en la absorción de CO₂. El aporte de nutrientes proviene desde el lecho del océano y desde el Río de la Plata (derecha).

Hielos y glaciares (i): el hemisferio norte

Varias causas combinadas afectan a los polos: (1) las emisiones de CO₂ y el aumento de la temperatura por efecto invernadero; (2) el hollín y polvo que oscurece el hielo y aumenta la capacidad de absorción; (3) la liberación de hidratos de metano desde el permafrost en el círculo polar Ártico y (4) la reducción de la capa de ozono en la Antártida. Se dice que: "la persistencia de las causas indica que el proceso desatado es irreversible". ¿Es posible que la situación sea tan preocupante?

Menos hielo en el Ártico. En las últimas décadas se observó que el Océano Ártico se calienta; la superficie cubierta con nieve en invierno se reduce; se pierde espesor en la capa de hielo; y decae el volumen. La reducción de la superficie de hielo expone zonas de rocas de colores oscuros que absorben mejor los rayos solares que antes se reflejaban. Se realimenta el calentamiento y se forman lagos de agua dulce sobre el hielo. Los lagos tienen un color azul oscuro que aumenta la absorción. El agua se filtra hasta el fondo del hielo y genera

una capa entre la roca y el hielo que facilita el deslizamiento. Así los glaciares se mueven más rápido hacia el mar y el proceso se acelera. Además, el agua dulce liberada reduce la salinidad del océano y puede afectar a la corriente termohalina.

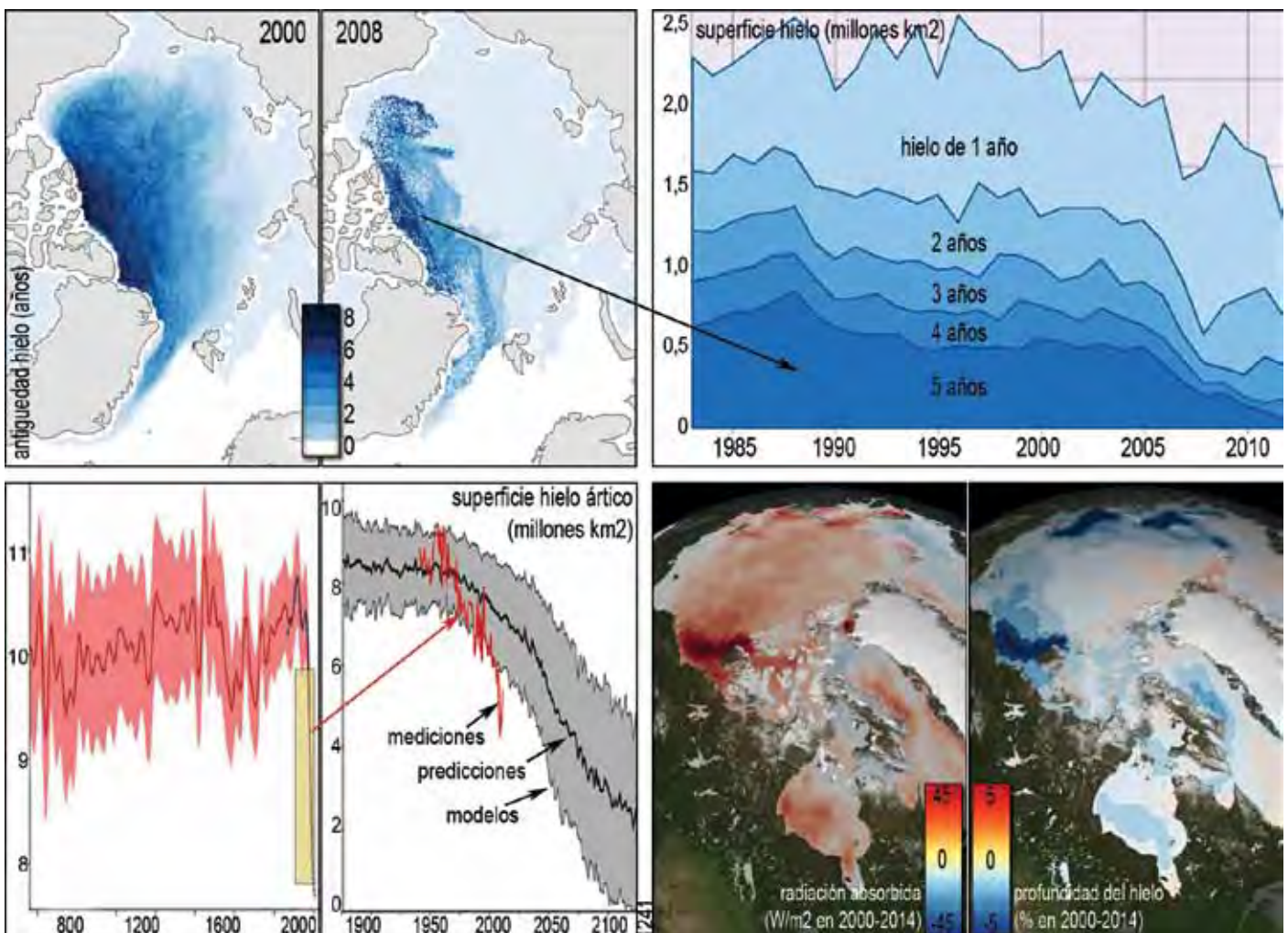
La aceleración de la fusión puede culminar con la desaparición del hielo del Ártico durante el verano. Se espera que para el 2050 el Océano Ártico será navegable y la ruta Alemania-Japón se reduzca en distancia desde 20.000 km a 13.000 km pasando por el Ártico en lugar del Canal de Suez (un viaje de 48 días se reduce a 35 días). El espesor de la capa de hielo se redujo un 40% en 50 años, pero no se puede medir mediante satélites, aunque se infiere de otros indicadores. Para medir con precisión el espesor del hielo se colocaron sensores en los trineos tirados por perros de los Inuit que recorren largas distancias en Groenlandia. En 2008, Groenlandia aprobó (75% de votos) un Estatuto de Autonomía de Dinamarca. El deshielo abre proyectos de minería y energía impensables sin el calentamiento global.

Los peligros. Las consecuencias para el equilibrio ecológico y ciertas especies serán severas. El oso polar necesita de esas capas de hielo para sobrevivir y cazar focas cuando salen a respirar. Se sabe que complementan la alimentación con gansos salvajes que no pueden

volar en época de muda de las plumas. Sin embargo, los gansos son pequeños (2 kg) y llegan a compensar ligeramente el esfuerzo de persecución en un oso polar de 300 kg.

Otra preocupación son los residuos radioactivos. Durante la Guerra Fría (1955-1990), la URSS realizó 224 pruebas nucleares (14 de gran tamaño) en la Isla de Nueva Zembla (Mar de Kara-Océano Ártico). La prueba más importante fue en 1960 de 50 Megatón (50 millones de toneladas de TNT equivalente). La bomba fue lanzada desde 10,5 km de altura y explotó a 4 km. Además hay submarinos nucleares hundidos y desechos radiactivos encerrados en contenedores. Hay al menos 16 reactores nucleares hundidos a baja profundidad, 17.000 barriles de residuos nucleares y 165.000 m³ de residuos líquidos radioactivos. Desde 1994 el vertido de este tipo de residuos está prohibido.

Un peligro potencial de máxima importancia es la liberación del metano contenido en el permafrost. El permafrost (sin incluir lo que está bajo el hielo de Groenlandia y Antártida) retiene cerca del doble del carbono atmosférico. Si se descongela podría llevar los niveles atmosféricos a 1.200 ppm de CO₂; que sumado a las reservas de combustibles fósiles podría llegar a unos 2.000 ppm hacia el año 2300. Las consecuencias éticas de afectar al futuro son aspectos a ser tratados por separado.



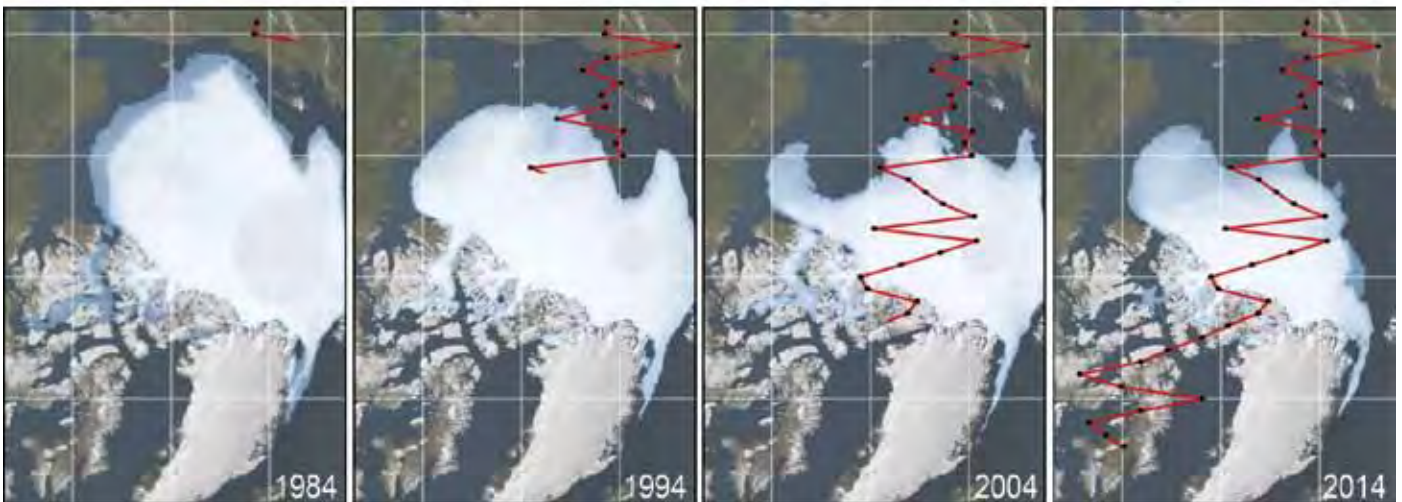
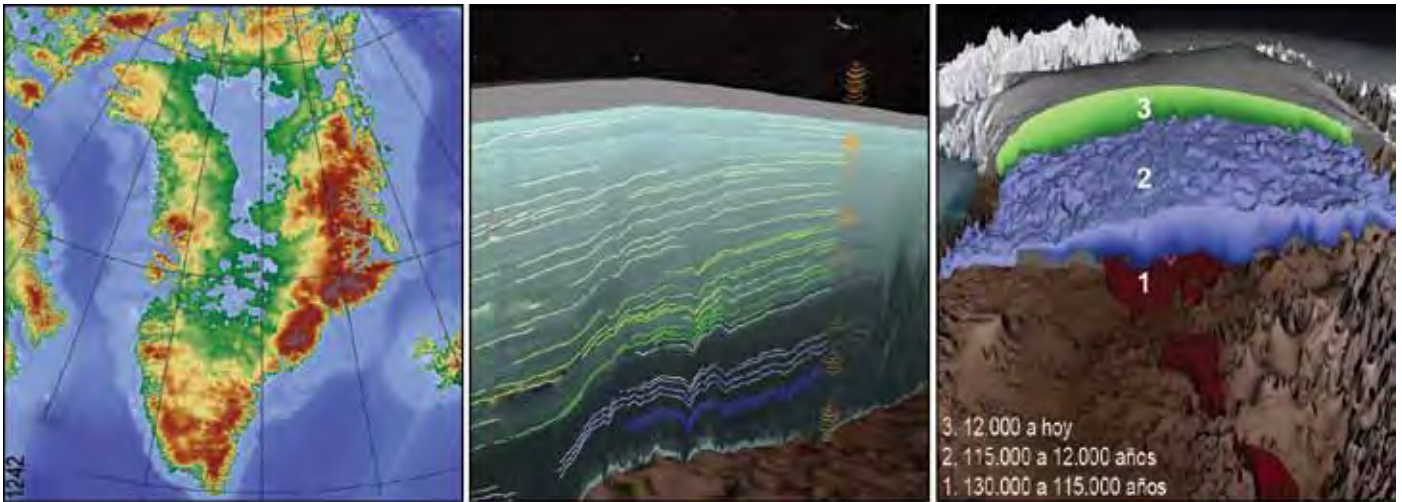
1241. La reducción del Ártico. Las consecuencias del calentamiento global se observan como una reducción en la antigüedad del hielo (arriba-izquierda), del espesor y superficie cubierta de hielo en el Ártico (derecha). La superficie de hielo se reduce más rápido que las previsiones y se encuentra cerca del 50% de un siglo atrás (abajo-izquierda). En este siglo (2000-2014) las zonas donde aumentó la absorción de radiación solar coinciden con las de mayor reducción de la capa de hielo (derecha).

Reducción del permafrost. Esta capa de suelo superficial está en permanente congelamiento y se encuentra en zonas frías y periglaciales. Ocurre en la tundra (al norte de la zona arbolada en el círculo Ártico) y en los glaciares andinos fragmentados. La mayor reserva de permafrost se encuentra en el área circumpolar del Ártico (Canadá, Alaska, Siberia). Se puede dividir en pergélisol (la capa helada más profunda) y mollisol (capa superficial activa). La superficie mollisol suele descongelarse en ciclos anuales y tiene una profundidad de hasta 4 metros. Es una piel delgada que cubre decenas de metros de hielo. Las plantas pueden sobrevivir si sus raíces penetran en tierra y obtienen agua.

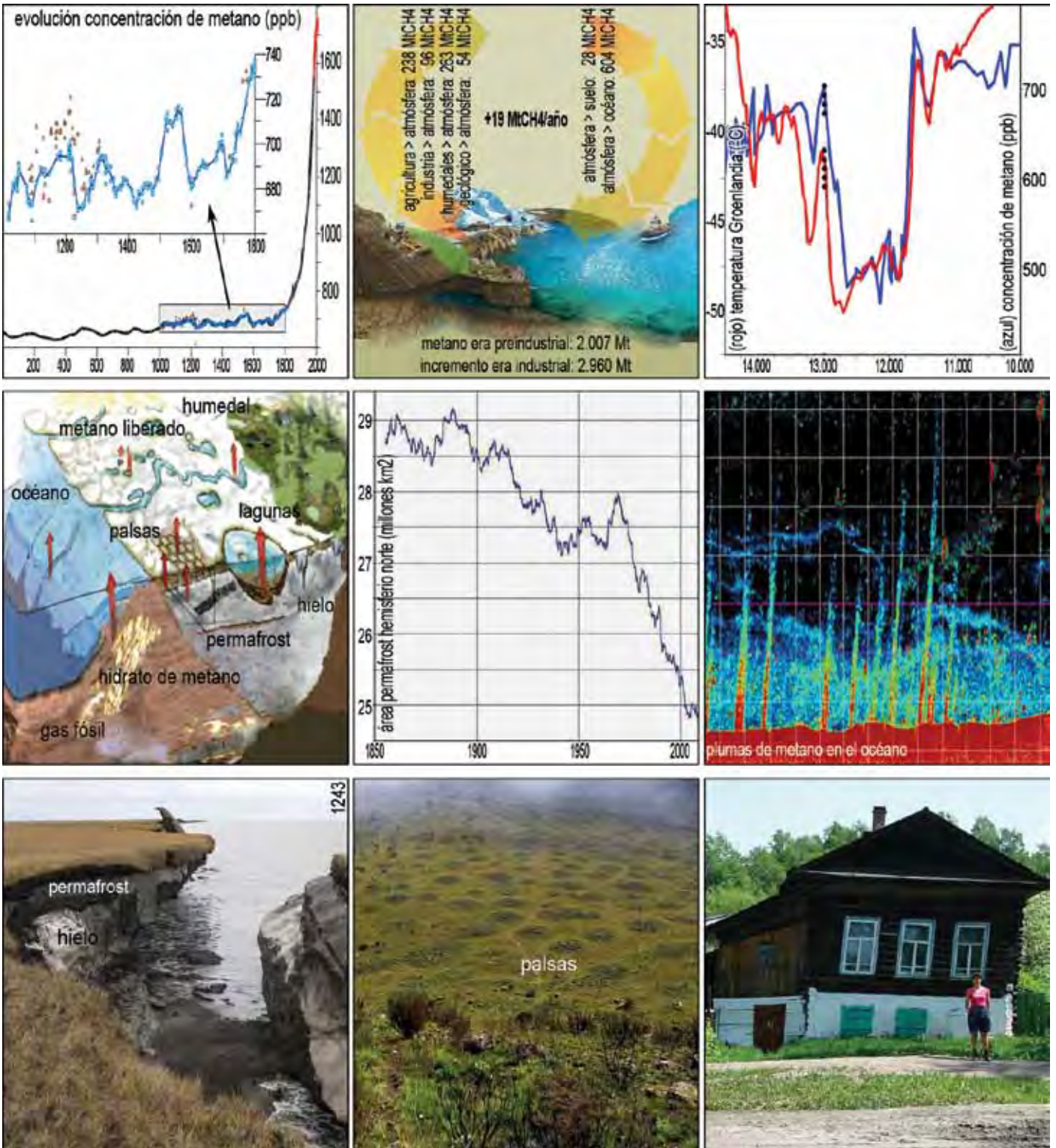
El permafrost puede tener diferentes características y formas. Pueden ser suelos orgánicos, arenosos y rocosos e incluso roca sólida. Podrían contener agua congelada o ser relativamente secos. Para ser permafrost el suelo debe estar por debajo de 0 °C durante dos o más años. Un 20% de la superficie de la Tierra es permafrost y en algunas partes penetra profundamente. En Barrow (Alaska) hay 440 m de permafrost y en áreas de Siberia llega a 1.500 m. En la superficie el permafrost puede formarse rápido; en solo 350 años de clima frío se forma permafrost hasta 80 m de profundidad. Sin embargo, el triple de profundidad requiere diez veces más tiempo. Se estima que llevó más de 500.000 años formarse el permafrost en Barrow.

En el año 2000 se extrajeron muestras del permafrost en el extremo oriental de Siberia a 30 m de profundidad. En el 2014 se reportó que esas muestras contenían virus de 35.000 años de antigüedad que estaban "vivos" (las comillas evidencian que los virus no son considerados organismos vivos propiamente dichos). Esta sepa de virus no es un peligro para los humanos ya que atacan a las amebas. Pero, es una demostración de una falsa sensación de seguridad, ya que se podrían extraer formas vivientes potencialmente dañinas mediante la minería, las perforaciones de petróleo y la pérdida de permafrost.

El permafrost contiene materia orgánica a medio descomponer. Si penetra oxígeno, la descomposición ocurre mediante microorganismos aeróbicos ("respiran" oxígeno) y se libera CO₂. En cambio, los sedimentos en las lagunas con poco oxígeno tienen una descomposición anaeróbica (no utilizan oxígeno) donde el resultado es el metano. El metano tiene 21 veces más de poder calorífico que el CO₂ en un plazo de 100 años y 100 veces mayor en un plazo de 20 años. Ascende como burbujas desde el fondo y cuando el hielo comienza a formarse (inicio del invierno) quedan atrapadas en la parte alta. Cuando el permafrost se derrite (verano), el terreno se hunde formando charcos y lagunas donde continúa el ciclo generador de metano. A nivel local muchas construcciones y carreteras están sobre el permafrost y la fusión deforma los suelos, hundiendo las estructuras construidas sobre él.



1242. Groenlandia. El estudio de la profundidad del hielo mediante aviones con radar y la datación de la edad mediante muestras de columna de hielo (arriba-izquierda), permite identificar el hielo de 3 grandes épocas (derecha). Año tras año el hielo en Groenlandia y del Ártico se reduce según muestran las fotografías satelitales (abajo). Groenlandia pierde hielo en las costas debido al aumento de velocidad de los glaciares, pero en las zonas de alta montaña demorará milenios en desaparecer completamente.



1243. El budget del metano y el permafrost. La evolución en la concentración de metano (arriba-izquierda) muestra un valor casi constante entre 600-700 ppb (partes por billón) antes de la era industrial (1750). El valor actual llega a 1.800 ppb. El ciclo del metano tiene componentes naturales y humanas (centro). En la atmósfera preindustrial había 2.000 Mt de metano CH_4 y en la era industrial se sumaron 3.000 Mt. El aporte humano es de 330 Mt/año, la mayoría pasa de la atmósfera a los océanos y 19 MtCH_4 se acumula en la atmósfera. El incremento de metano se correlaciona con la temperatura; como lo muestra el evento en Groenlandia de hace 13.000 años (derecha). Las reservas de metano en el planeta son: 500 Gt (o 500.000 Mt) en el permafrost, 1.000 Gt en combustibles fósiles y 5.000 Gt en hidrato de metano oceánico. Las reservas son 1.000 veces el contenido atmosférico. El permafrost y el hidrato de metano oceánico son afectados por el calentamiento global (centro-izquierda). El permafrost reduce su área año tras año (centro). Cuando se derrite el hidrato de metano en los océanos se escapa en forma de plumas de burbujas de gas (derecha). Con el calentamiento global el permafrost se pierde (abajo-izquierda), libera metano y el terreno se hunde formando lagunas y palsas (centro). Se producen los deslizamientos y la rotura de caminos y casa (derecha). La pérdida de permafrost favorece la migración de plantas; cambia la composición de los bosques; cambia el uso de la tierra y los patógenos se mueven hacia el norte. Por ejemplo, en Sahtu (Canadá) se encontraron alces con garrapatas en la piel por primera vez y en el norte de Rusia la encefalitis transmitida por garrapatas aumentó 50 veces en 20 años.

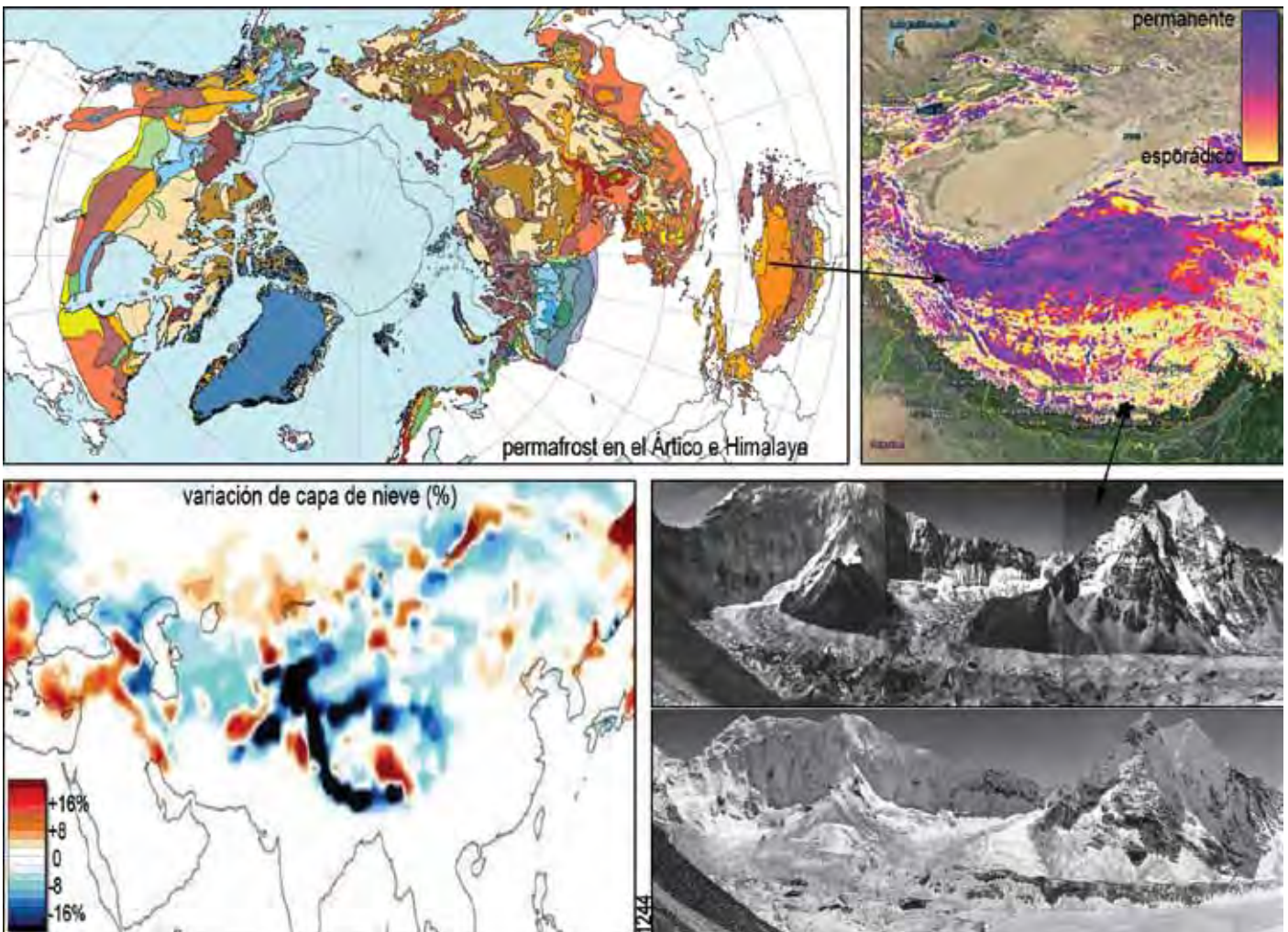
Una investigación realizada en cavernas siberianas sugiere que el aumento de 1,5 °C en la temperatura global podría provocar un deshielo muy importante del permafrost. El permafrost tiene 850 GtC y su liberación acentuaría el calentamiento global en forma dramática. Los datos provienen del análisis de estalactitas y estalagmitas de cuevas situadas a lo largo de la "frontera del permafrost", donde el suelo tiene decenas o cientos de metros de espesor. Las estalactitas y estalagmitas crecen cuando el agua de lluvia líquida y la nieve derretida gotean dentro de las cuevas, en un proceso que deja capa tras capa. Los registros de un período cálido de hace 400.000 años sugieren que un calentamiento global de 1,5 °C fue suficiente para causar un deshielo considerable del permafrost mucho más al norte de su límite sur actual. En Canadá se midió que el permafrost en la Bahía James se retiró hacia el norte unos 130 km en los últimos 50 años. Se utilizaron fotografías aéreas históricas con la distribución de las "palsas" (montículos circulares que se forman al derretirse el permafrost y donde se desarrollan plantas).

El metano y el Ártico. El ciclo de metano (atmósfera, océanos y suelo) no está evaluado con precisión. Se sabe que el metano en la atmósfera aumentó casi 3 veces desde la era preindustrial, desde 700 ppb (partes por billón) a 1.800 ppb. El balance actual es cercano a 5.000 Mt de CH₄ en la atmósfera y se incrementa a razón de 10 MtCH₄

al año. La actividad humana aporta cerca de 330 MtCH₄/año, pero gran parte va a dar a los océanos. Un grave problema son las reservas de metano que podrían ser liberadas. Se trata de 850.000 Mt (850 Gt) en el permafrost, 1.000 Gt en combustibles fósiles y 5.000 Gt en hidrato de metano en los océanos. El calentamiento global afecta directamente al metano en permafrost y océanos.

Las bolsas de hidratos de metano en los océanos son muy antiguas y la liberación es poco probable, ya que se requiere un incremento de temperatura de las aguas profundas y del suelo oceánico. Pero, de ocurrir, sería una catástrofe climática. La última vez que sucedió fue hace 55,8 Ma y define el límite entre Paleoceno y Eoceno. En 20.000 años la temperatura aumentó entre 5 y 8 °C. En aquel momento, la Patagonia estaba unida a la península Antártica y las corrientes marinas eran muy diferentes, como resultado no había zonas con hielos todo el año. El proceso ocurrió en 2 pulsos: primero el vulcanismo produjo un calentamiento rápido y disparó el segundo pulso: la liberación del hidrato de metano desde los océanos. Al sistema le llevó 200.000 años recuperarse.

La zona norte de Siberia junto al estrecho de Bering, es un área de acumulación de hidrato de metano. Es una extensa área de plataforma continental donde el 75% tienen menos de 50 m de profundidad. Es



1244. El Himalaya: "el tercer polo". La distribución del permafrost en el hemisferio norte (arriba-izquierda) incluye la región del Himalaya, llamado tercer polo por la cantidad de hielos y glaciares (derecha). Las regiones tienen zonas con permafrost continuo y diferentes tipos de discontinuidades. La mayoría de las regiones en el Himalaya pierden permafrost (abajo-izquierda), en tanto el estado de los glaciares es incierto aunque las mediciones indican una mayoría en retroceso. Otros problemas son la pérdida de agua para la agricultura y el vaciado de los acuíferos que se llenan desde la cadena de montañas.

favorable para la acumulación de depósitos marinos que, en tiempos geológicos, podrían llegar a ser combustibles fósiles. Algunas empresas de petróleo están intentando convertir las "reservas" de hidrato de metano en gas natural.

La liberación de hidrato de metano y de sulfuro de hidrógeno se mencionaron como posibles causas de la mayor extinción de la vida al final del Pérmico (hace 252 Ma). Habría sido consecuencia de un extenso vulcanismo en el centro de Siberia, el más grande en los últimos 500 Ma. Las erupciones liberaron CO₂ como para aumentar la temperatura 5 °C. Esto habría favorecido la liberación del hidrato de metano enterrado. El vulcanismo coincidió con el choque de un meteorito en la costa de Antártida frente a Australia. Además, la proliferación de bacterias anaeróbicas podrían haber liberado sulfuro de hidrógeno tóxico en la atmósfera, lo que redujo el oxígeno en el fondo del mar.

El caso: "tercer polo". Se ha llamado de esta forma a la meseta del Tíbet y las cadenas vecinas. Tienen 46.000 glaciares con superficie de 100.000 km². Equivale al 6% del hielo de Groenlandia. Contiene permafrost de hasta 130 m de profundidad. Pero, a diferencia de los polos,

el agua del deshielo interactúa sobre las cuencas de ríos con el 25% de la población mundial (10 países). Por esto también se la conoce como la "torre de agua" de Asia.

Los informes recientes sobre la evolución del tercer polo son contradictorios. En los últimos 50 años la temperatura subió 0,3 °C/década por encima del resto del planeta. A pesar de la evidente ausencia de datos, en China se reportó un balance de glaciares que indica una disminución en 30 años del 17% en superficie. El permafrost se desintegra generando lagos glaciares inestables y peligrosos. La evolución parece ser diferente dependiendo de la masa del glaciar, la altura y las características de las rocas. Las causas contradictorias provienen de una combinación de monzones de verano (grandes lluvias desde el este que alimentan de nieve); el viento del oeste en invierno (aire caliente que aumenta con el calentamiento global) y el aumento de hollín industrial producto del uso de carbón (oscurece el hielo y aumenta la capacidad de absorción de calor del 12 al 34%). El derretimiento de glaciares puede proporcionar más agua a corto plazo y ser un problema a largo plazo, porque los glaciares amortiguan las épocas de sequía.

Hielos y glaciares (ii): el hemisferio sur

Hielos antárticos. La Antártida se diferencia del océano Ártico y es similar a Groenlandia, ambos tienen una plataforma continental debajo donde se apoyan los glaciares. En la Antártida el calentamiento se percibe como una reducción en la profundidad del hielo en la periferia y la pérdida de plataformas flotantes en los extremos de los glaciares (iceberg). Si la temperatura aumenta, la velocidad de movimiento del hielo aumenta, se producen grietas y la plataforma se rompe en pedazos (los "icebergs"). El umbral parece estar cerca de -9 °C, como media anual. El agua se filtra por las grietas hasta la base del glaciar, lubrica el movimiento y reduce el espesor del glaciar con lo que aumenta la pendiente y velocidad.

La pérdida de plataformas heladas periféricas se observó por primera vez en la Base Matienzo del Ejército y Fuerza Aérea Argentina. Se encontraba sobre la Plataforma Larsen A y en 1995 se separó de la masa de hielo. En enero de 1979, Emile Marco Palma se convirtió en el primer niño nacido en el continente austral. Fue una acción planificada de la Argentina (se envió una mujer embarazada) para fundar los reclamos sobre una parte de la Antártida.

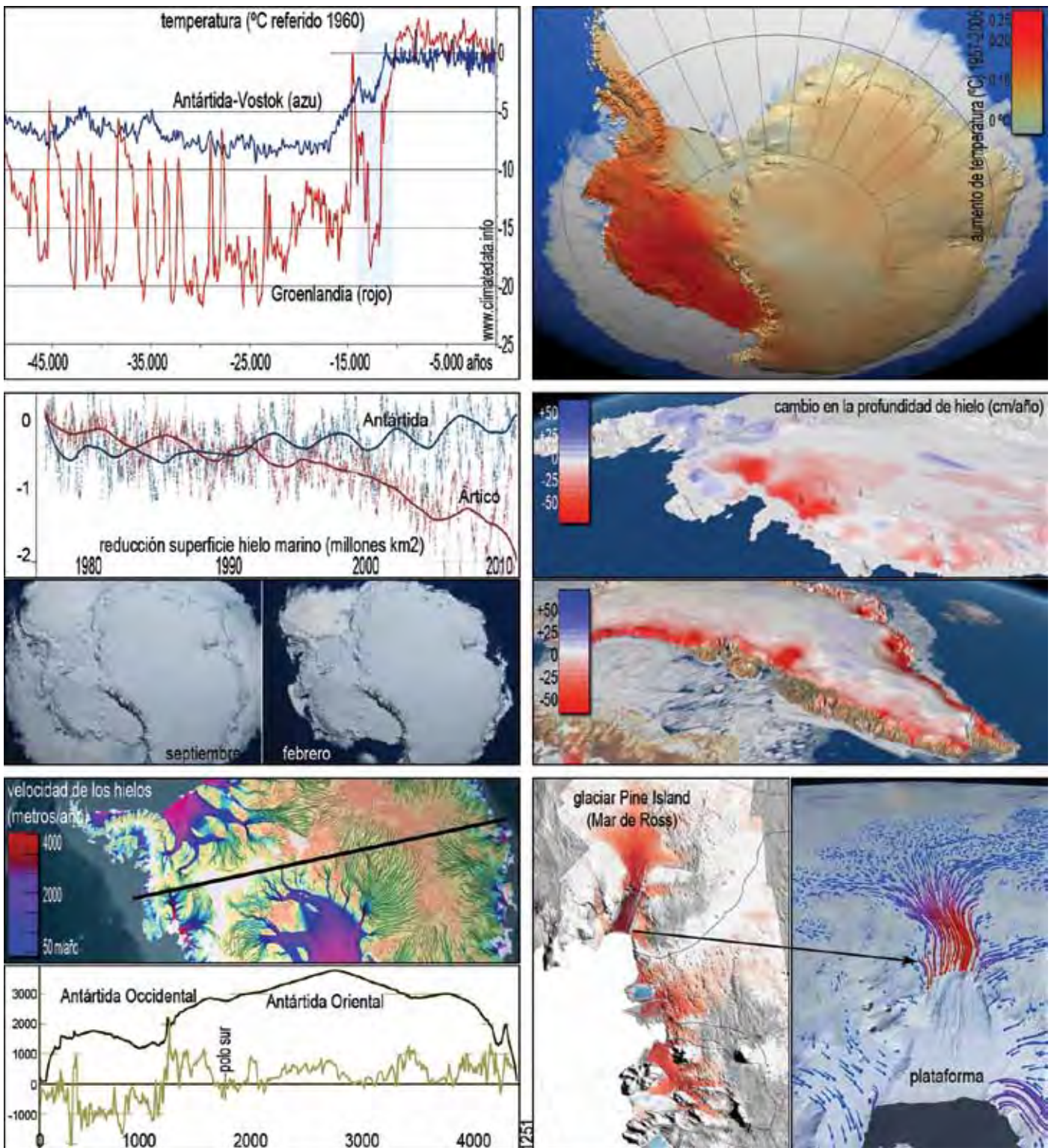
Los glaciares arrastrados por la gravedad avanzan reptando sobre la roca hacia el océano flotando sobre el mar (son las "plataformas"). El calentamiento global acelera el movimiento, de forma que en el 2002 se perdió la plataforma Larsen B. Con anterioridad se había perdido la plataforma Príncipe Gustavo al norte de Larsen A y hoy conocido como Canal Príncipe Gustavo. La plataforma Larsen B tenía unos 220 m de espesor y como estas plataformas flotan sobre el océano no son un aporte a la altura del nivel del mar. Sin embargo, al desprenderse aceleran el flujo de hielo desde las tierras altas. Se estima que las plataformas de la Península Antártica están allí desde la última era glacial hace 12.000 años.

El incremento de temperatura genera un aumento en la caída de

nieve. El espesor de la nieve acumulada aumenta en las zonas interiores de Antártida, mientras el hielo se pierde en las plataformas flotantes de la costa. Como en Groenlandia, los hielos periféricos se mueven más rápido que los centrales. Se estimó que deberían pasar milenios para que toda la Antártida pierda la criósfera (nieve e hielos). La superficie de hielo en invierno aumenta en la Antártida debido a la intensificación de los vientos que circundan al continente. La razón se atribuye al hueco de ozono que aumenta la densidad de energía que llega a la superficie y produce vientos más fuertes. Otra posible causa es el mayor deshielo desde la parte continental. Esta agua dulce se congela con mayor facilidad que la salada del océano en los bordes. El incremento de la superficie de hielo en la Antártida es poco y la tendencia debería revertirse si se recupera la capa de ozono y continúa el incremento del calentamiento global.

El caso: "lago Vostok". Casi en el centro de la Antártida y bajo 3,7 km de espesor de hielo se encuentra el lago Vostok (250x50 km). Las aguas están líquidas a -3 °C (la presión es de 360 atmósferas), aunque en la superficie se ha medido un record de -89,2 °C en julio de 1983. En la Antártida se han contabilizado cerca de 300 lagos que están líquidos. La causa puede ser la combinación de presión-temperatura o la energía geotérmica. Una perforación del hielo en el Vostok ha permitido evaluar el clima en los últimos 420.000 años. Los resultados son interesantes cuando se los compara con Groenlandia, porque la Antártida es mucho más estable. El aumento del CO₂ actual observado no tiene precedentes en las mediciones del Vostok.

El agua dulce del lago tiene niveles de oxígeno disuelto 50 veces mayor a los lagos de la superficie; se han medido mareas de 1-2 cm de acuerdo con la posición del sol y la luna y se han encontrado ríos subglaciares que podrían unir los lagos. En 2013 se extrajo agua del Vostok, mediante un proceso en etapas para evitar la contaminación

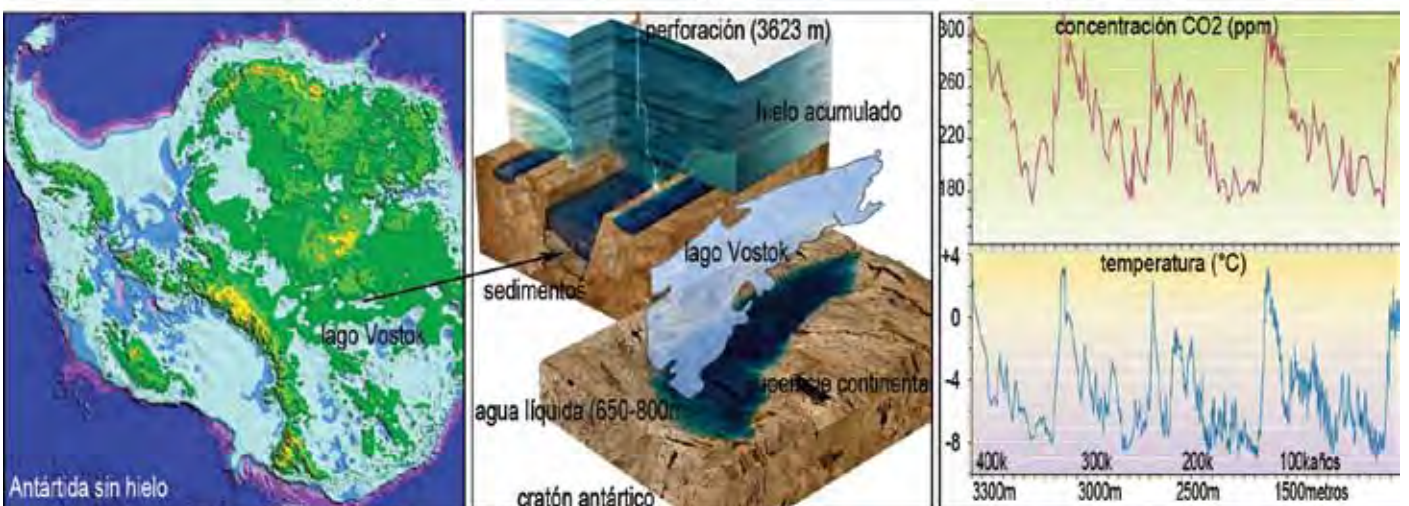
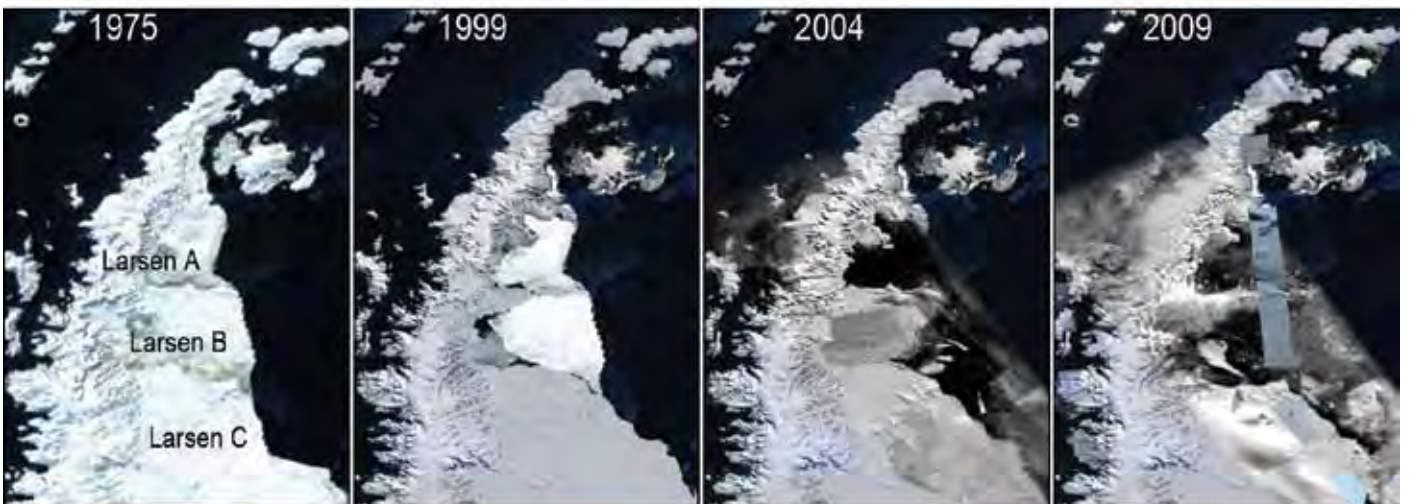
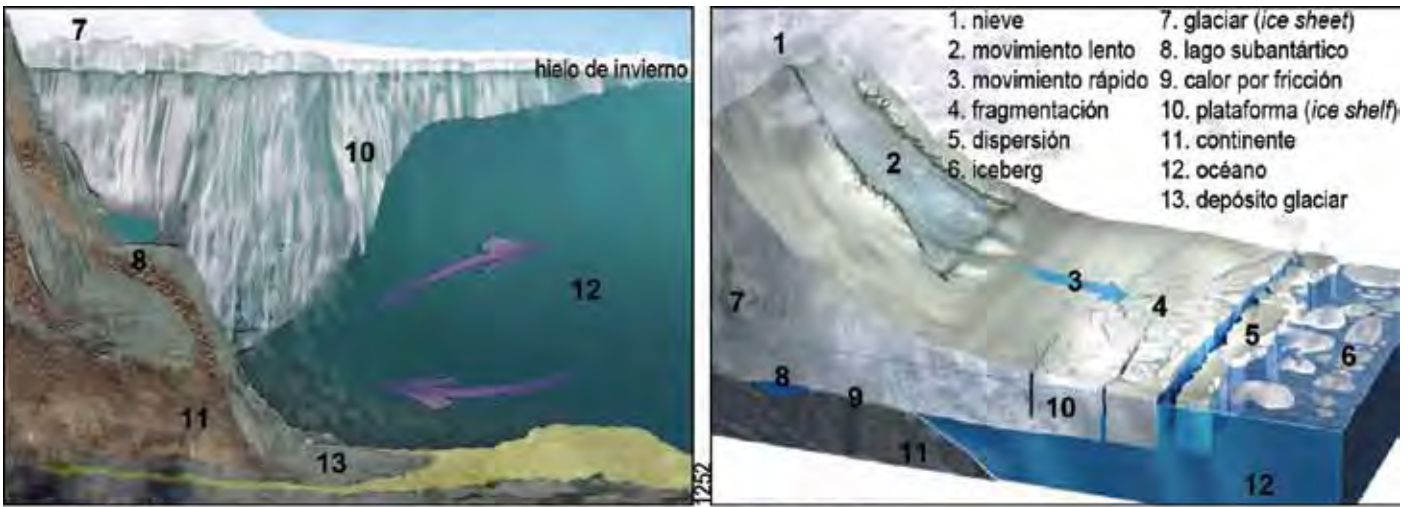


1251. La Antártida: temperatura e hielo. La Antártida tiene un comportamiento diferente al Ártico. Las causas son la presencia de un continente en lugar de un océano (en el Ártico el agua se mueve lentamente desde el Pacífico hacia el Atlántico) y una corriente circumpolar (de agua y aire) que rodea y aísla a la Antártida. En cuanto a la temperatura histórica las muestras de hielo en Groenlandia y en Vostok (Antártida) muestran una evolución diferente, con la Antártida más estable (arriba-izquierda). La Antártida se divide en la región Occidental (con mayor calentamiento y reducción de la capa de hielo) y Oriental (con mayor altura sobre el nivel del mar) (derecha). La superficie de hielo en el Ártico se reduce, pero en la Antártida se mantiene o aumenta (centro-izquierda). Se debe al aislamiento de la Antártida por la corriente marina circumpolar; a los vientos de gran altura y el hueco de ozono. Además, la pérdida de hielo desde el continente aumenta la proporción de agua dulce (menos densa) y más fría, lo que crea un "lago" sobre el mar Antártico que se congela con mayor facilidad. Este proceso durará un tiempo y luego la extensión del hielo y el volumen se reducirán. La variación en la profundidad del hielo se compara entre la Antártida Occidental y Groenlandia (derecha). Con el calentamiento global los hielos de Antártida se mueven más rápido en las zonas de menor altura (abajo-izquierda). El rojo indica las zonas de mayor velocidad del hielo. Como ejemplo se muestra al Glaciar Pine Island en el Mar de Ross (derecha).

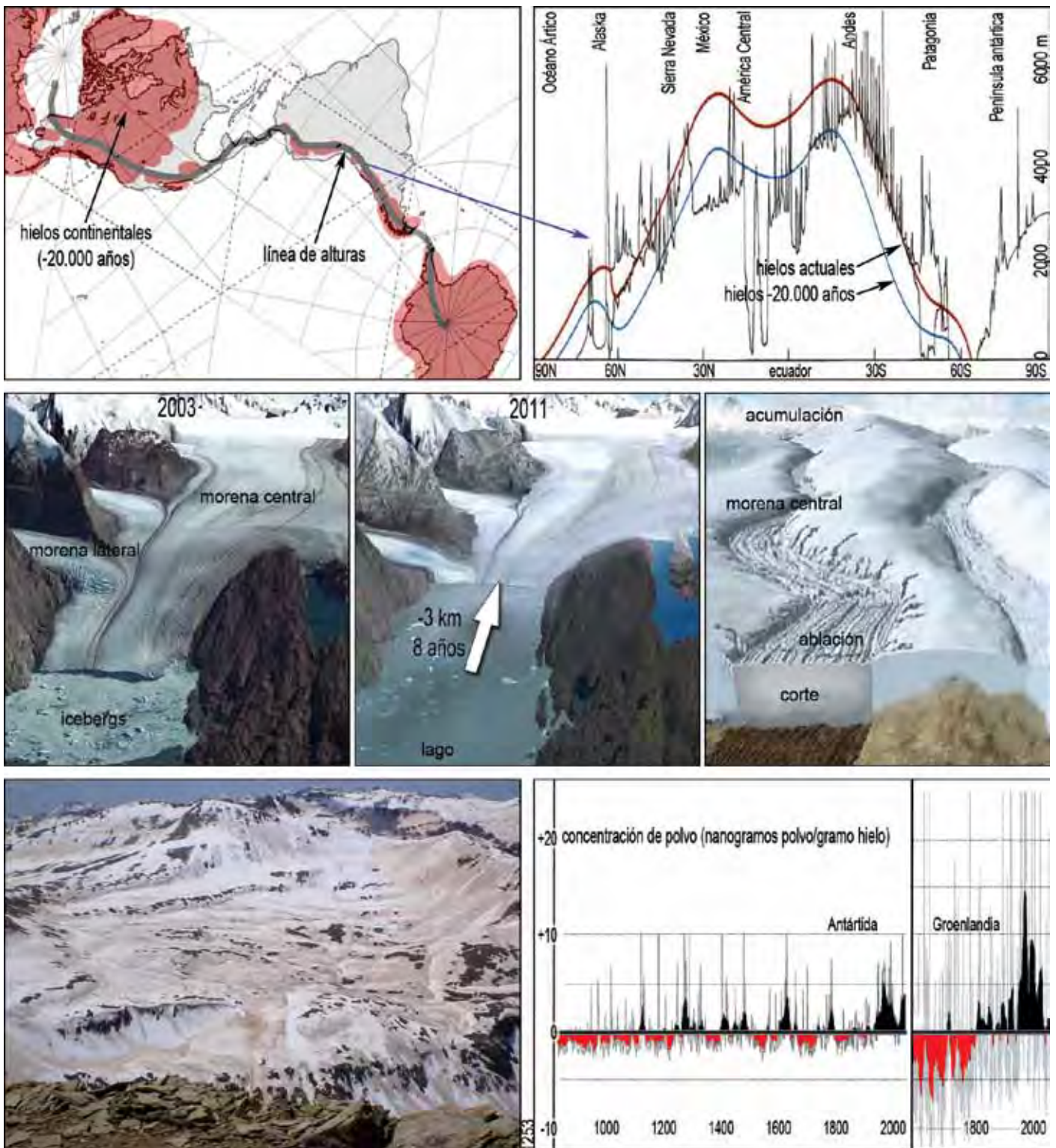
un planeta

desde la superficie. Se encontraron cerca de 3.000 tipos de bacterias. Estos datos pueden ayudar en la búsqueda de vida en la luna Europa del planeta Júpiter. Europa es una luna cubierta totalmente de hielo, como la Antártida.

Argentina: glaciares andinos. Sobre los Andes los glaciares están muy fragmentados y en retroceso. En realidad, los glaciares no "retroceden" ya que siempre avanzan en pendiente por acción de la gravedad; lo que retrocede es la línea de base debido a que se derriten



1252. La Antártida: plataformas y lagos. Cuando un glaciar llega al borde de la Antártida, flota y se denomina plataforma (*ice shelf*). Pero, el aumento de temperatura acelera el movimiento de forma que se cortan y disgregan como iceberg (arriba). Un ejemplo son las plataformas Larsen en la Península Antártica en los últimos decenios (centro). Las plataformas Larsen A y B se perdieron y la Larsen C se encuentra en riesgo a mediano plazo. En el interior de la Antártida y bajo kilómetros de hielo, existen sorpresas. El lago Vostok se encuentra líquido a -3°C , pero bajo 3,6 km de hielo sólido, a 360 atmósferas de presión (abajo-izquierda). Gracias a los datos obtenidos en la columna de hielo de la perforación (centro), se demostró la correlación entre la temperatura y el nivel de CO_2 (derecha). Es una prueba que el incremento en la concentración de CO_2 atmosférico se traducirá tarde o temprano en un calentamiento global simétrico.



1253. Los glaciares continentales. Los hielos continentales y polares llegaron a un máximo hace 20 mil años (arriba-izquierda). La nieve en los Andes estaba 1.000 m más abajo que hoy día (derecha). En la Argentina se contabilizaron 14.500 glaciares (Ley de Glaciares) con 5.600 km² de superficie. En Jujuy, Salta y Catamarca hay glaciares pequeños y a 5.000 m de altura, por lo que son menos afectados por el cambio climático. En Mendoza y San Juan los glaciares son grandes (Aconcagua, Tupungato y Mercedario) y retrocedieron 10-20% desde los años 60. En Tierra del Fuego la situación es crítica porque hay glaciares pequeños de menos de 0,5 km². Los glaciares de Neuquén, Río Negro y Chubut perdieron 10-20% y se espera otra pérdida de 10% en la próxima década. En Santa Cruz y Chile (48 glaciares) solo uno avanzó y otro se mantiene estable (Perito Moreno). El más afectado es el Upsala, que cedió 3,5 km en los últimos 20 años (centro). La pérdida de hielo es de 20 Gt/año y en el período 2000-2014 se perdió hielo como para cubrir la Argentina con 10 cm de agua (adelgazamiento es de 1,8 m/año). Otro problema es el hollín que oscurece la nieve y aumenta la absorción, modificando el albedo (porcentaje de radiación reflejada). La nieve tiene un albedo del 86%, pero en el ejemplo de las Montañas Rocosas (Colorado), el albedo se redujo al 30% (abajo-izquierda). Por ejemplo, el carbono negro en la India aumentó un 50% por década desde 1990. Esto afectó a la extensión del hielo en el Himalaya, produciendo sequías al norte e inundaciones en el sur de China. Una evaluación histórica en los hielos de Groenlandia y Antártida (derecha) permite observar la acumulación de polvo respecto del valor promedio.

más rápido que el aporte de nieve. El relevamiento de glaciares en los Andes argentinos entrega una decena de miles debido a la fragmentación. Un glaciar se considera cuando tiene al menos una hectárea de superficie. Fuera del glaciar (ambiente periglacial) se encuentra el permafrost, con superficies inferiores al hemisferio norte, pero valiosas como acumulación de agua.

Los glaciares andinos están amenazados por el calentamiento global, pero también por el enfriamiento del mar Antártico, el hueco de ozono y los vientos que circundan a la Antártida. Esto causa una reducción de las nevadas y la pérdida de espesor en los glaciares. El juego entre las temperaturas bajo cero y precipitaciones en forma de nieve es el que mantiene estable a los glaciares. Por ejemplo, el glaciar Upsala (Santa Cruz) en su cuenca mayor, tenía en el año 2002 un espesor de 1.300 m. Diez años después era inferior a los 1.000 m. Hace 20.000 años, en el máximo de la última glaciación, los hielos andinos se encontraban 1.000 m más abajo que los actuales. Los glaciares de Santa Cruz llegaban al océano Atlántico. Los que aún permanecen en los Andes son el fruto de la fragmentación en las cumbres de las montañas. La protección de estos hielos ante el avance de la minería a cielo abierto, dio origen a la "ley de Glaciares" en la Argentina.

En 30 años, los glaciares desde Bolivia a Colombia se redujeron en promedio 30-50%, con máximos de 80-100%. Desde 1980 la temperatura media ascendió 0,7 °C en esa región andina y la des-

aparición de los glaciares afectará al suministro de agua. El régimen de lluvias se mantuvo, pero el aumento de temperatura cambió la relación de agua-nieve y la acumulación. Los más afectados son los glaciares pequeños (menos de 1 km²) y a gran altura (5.400 m). El glaciar Chacaltaya (a 5.400 m de altura y 30 km de distancia de La Paz-Bolivia) tenía en el 2010 solo 20 m de longitud y terminó por desaparecer ese mismo año. Este glaciar tenía 18.000 años de antigüedad.

Los glaciares tropicales regulan gran parte del agua en la región andina. En épocas de sequía o poca lluvia, los *apus* blancos proveen caudal de agua para consumo humano, agricultura y generación hidroeléctrica. En el siglo XX fueron 5 los aluviones en Ancash (Perú) y en 1970 un aluvión mató a 15.000 personas en Yungay. El aluvión provino del monte Huascarán, el más alto del Perú (6.768 metros), y se originó en un terremoto de 7,7 grados de magnitud. Son cerca de 600 glaciares en unos 200 km de longitud a 6.000 m de altura. Al Callejón de Huaylas se lo llamó "la neoliberalización de los glaciares", debido a las grandes empresas que usan los glaciares ancashinos (p.e., Duke Energy). Las empresas ponen diques en algunas de las 400 lagunas de origen glaciar. Se pensó más en la generación eléctrica que en el riesgo potencial de desastres para los pobladores de Ancash. Para la cuenca del Mantaro y del Urubamba (Perú) se realizaron mapas del impacto del cambio climático en cultivos de café, granadilla y palta, para ayudar a la adaptación.

El agua (i): humedales, lagos y ríos

Ciclo del agua. Estudiando la proporción de isótopos de hidrógeno en el agua de lluvia, ríos y atmósfera se pudo concluir una estimación global del ciclo del agua. El 83% de la evaporación mundial proviene de los océanos (17% de los continentes) y de la cantidad de lluvia global el 77% cae sobre los océanos (13% sobre los continentes). El 64% del agua que cae en los continentes se libera mediante la transpiración de las plantas y el 36% escurre en el subsuelo y arroyos. De este valor el 6% se evapora del suelo, el 3% se evapora de espejos de agua y el 27% cae directamente sobre las plantas y se evapora (proceso llamado interceptación). Estos valores indican que el ciclo del agua y el suelo están algo separados, lo cual es importante porque el agua que entra en el ciclo de las plantas consume CO₂ de la atmósfera, pero el agua que va al suelo no lo hace.

Los humedales, lagos y ríos tiene diversos problemas: (1) la contaminación con residuos orgánicos desde la agricultura produce eutrofización; (2) los contaminantes inorgánicos de la industria aumentan los metales pesados en la cadena trófica; (3) las ciudades liberan drogas, medicamentos y agua caliente; (4) el incremento de CO₂ aumenta la temperatura, reduce el oxígeno y la abundancia de seres vivos; (5) las represas hidroeléctricas fragmentan los ríos; (6) el dragado para el transporte fluvial enturbia las aguas y modifica el flujo natural; (7) se pierden humedales para usarlos en agricultura; (8) se desvían aguas para riego, minería y petróleo; (9) los deltas de ríos se hunden por diversas causas (10) los acuíferos subterráneos se secan a causa de la sobreexplotación para agricultura de regadío. Algunos de estos aspectos son analizados a continuación.

(1) Los contaminantes orgánicos. Los microorganismos son los encargados de controlar la concentración de las sustancias biodegradables. Pero, en cantidades excesivas o con materiales no degradables, la autodepuración desaparece. Los ríos, lagunas y humedales son los depuradores de agua de primera instancia (un servicio ecosistémico de los humedales) y los mares y océanos reciben los restos que no se procesaron.

Las aguas residuales (servidas o negras) son un desecho típico de las ciudades e impactan en el ambiente aguas abajo por muchos kilómetros. Se encuentran sustancias fecales (materia orgánica), desechos industriales y de alcantarillas. Si son biodegradables reducen el oxígeno disuelto y la capacidad de autodepuración. Si no lo son, como los derivados del petróleo y metales pesados, se acumulan en los tejidos animales y generan toxicidad. Se consideran contaminantes biológicos a los microorganismos patógenos que transmiten enfermedades (bacterias, virus, hongos, huevos de parásitos y amebas). También se encuentran restos de medicamentos y antibióticos.

El tratamiento de las aguas residuales se diferencia del agua potable en que las residuales se tratan hasta un cierto estado, dependiendo de la capacidad de auto purificación biológica del cuerpo receptor donde se vierten. El procesamiento se realiza por gravedad (sedimentación de sólidos, flotación, filtrado) y por métodos químicos y biológicos. Las aguas deben ser tratadas para cortar el ciclo epidemiológico de la transmisión de patógenos. La desinfección puede hacerse con cloro (de bajo costo pero genera derivados tóxicos), mediante rayos

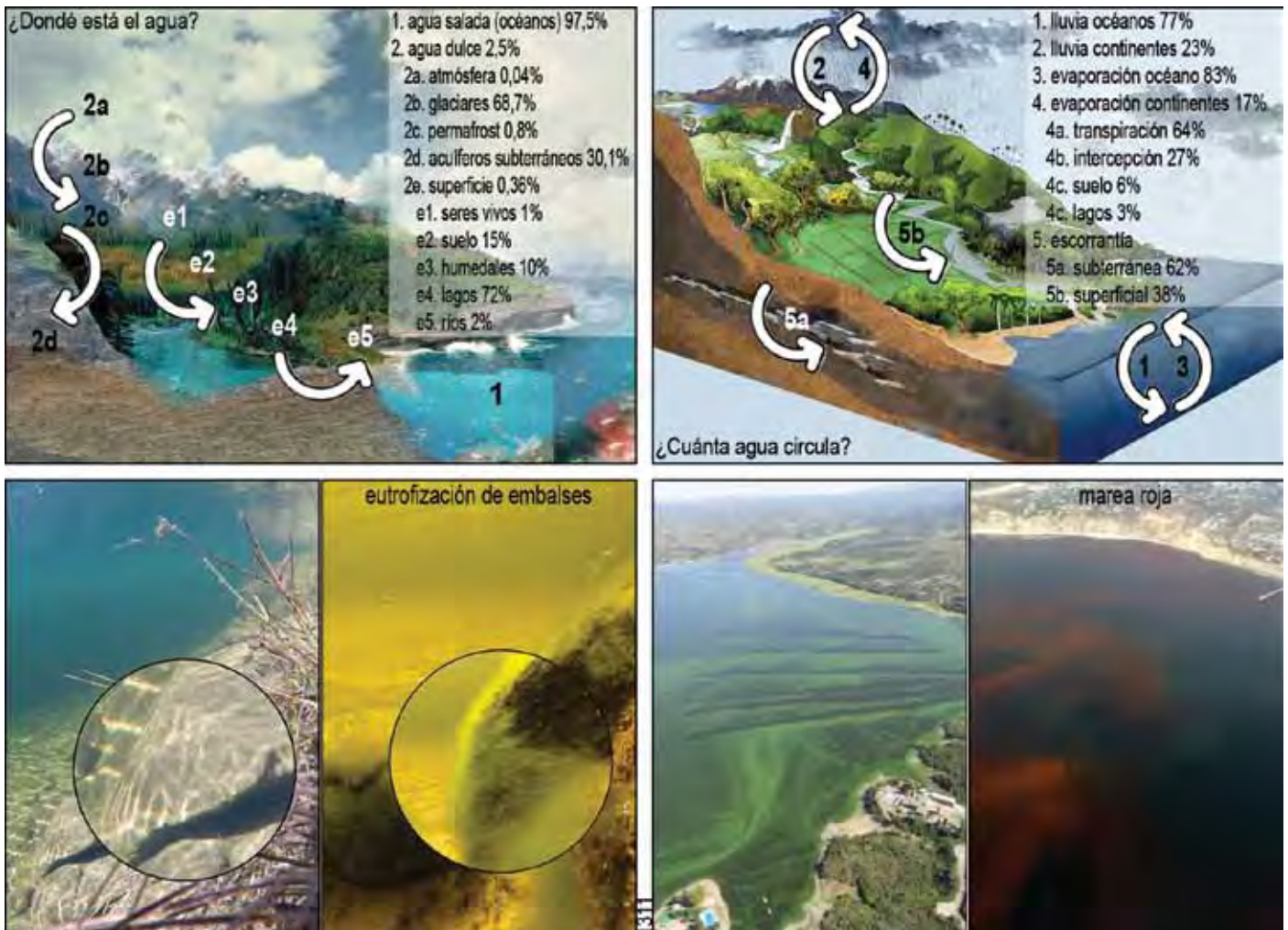
UV que modifican el ADN de los seres vivos (de alto costo y necesidad de controles periódicos de efectividad) y con ozono de alto poder oxidante (de alto costo y peligro por mal uso). Se pueden aprovechar los efluentes para producir biogás mediante digestión anaeróbica y usar los restos para abono del suelo agrícola.

La agricultura contribuye a la contaminación del agua por el riego, labores ganaderas, abonos (nitratos) y pesticidas que llegan a las capas subterráneas y los ríos. Es una contaminación difusa, proveniente de una actividad extendida en grandes áreas, por lo que resulta imposible la depuración. El uso de plaguicidas desde medios aéreos puede contaminar extensas áreas al ser arrastrados por el viento. Son sustancias poco solubles, fácilmente degradables y las absorbe el suelo. Pero si llegan a los acuíferos subterráneos, la degradación se ralentiza. Aunque, se desconocen los efectos de la contaminación por fitosanitarios de las aguas subterráneas, se sabe de la presencia en acuíferos con agricultura intensiva. Los fertilizantes estimulan el crecimiento de las plantas acuáticas agotando el oxígeno del agua (eutrofización).

(2) La eutrofización. Los fertilizantes agrícolas (nitratos y fosfatos) y los efluentes urbanos inducen el crecimiento de algas. Es la

eutrofización de lagunas y humedales con un color verde característico. Cuando las algas mueren, se descomponen consumiendo oxígeno haciendo imposible la vida y generando un estanque de agua maloliente e inutilizable. La eutrofización es natural, pero los vertidos humanos lo llevan a niveles insustentables. El nivel de eutrofización utiliza indicadores claves: el contenido de clorofila de las algas, la proporción de fósforo y nitrógeno en el agua y el valor de penetración de la luz. En lagunas eutrofizadas se pueden encontrar peces que se adaptaron a sobrevivir con poco oxígeno. Si el proceso continúa, una laguna se convertirá en un humedal debido a la radicación de las plantas.

Una de las primeras advertencias de eutrofización fue en los años '60. Los detergentes estaban compuestos por fosfatos (65% de tripolifosfato de sodio), uno de los principales culpables de eutrofización. Los vertidos domésticos y lavanderías llevaban gran cantidad de estos iones. En 1973, Canadá fue el primer país en prohibir el uso de detergentes que tuvieran más de un 2,2% de fósforo. Pero, en las últimas décadas las concentraciones de nitrógeno y fósforo en el agua se duplicaron. El nitrógeno tiene más movilidad que el fósforo y puede ser lavado en el suelo o pasar al aire por evaporación del amoníaco. Un 30% del nitrógeno llega a los ríos procedentes de la atmósfera. En



1311. El ciclo y la contaminación del agua. La mayoría del agua está en los océanos (97,5%) (arriba-izquierda). Del agua dulce disponible las principales reservas están en los glaciares (68,7%) y los acuíferos subterráneos (30,1%), ambos en disminución. En la superficie (0,36% del agua dulce) la principal reserva está en los lagos (72%). El ciclo del agua (derecha) se cierra en su mayoría en los océanos por evaporación (83% del total) y lluvia (77%). En los continentes la amplia mayoría se cierra en la evaporación e intercepción de las plantas (91%). Del agua que llega al suelo la mayoría pasa al subsuelo en forma directa (62%) sin interactuar con la vida superficial. La contaminación biológica de las aguas se muestra en dos ejemplos: la eutrofización de aguas estancadas (abajo-izquierda) y la proliferación de algas "marea roja" (derecha).

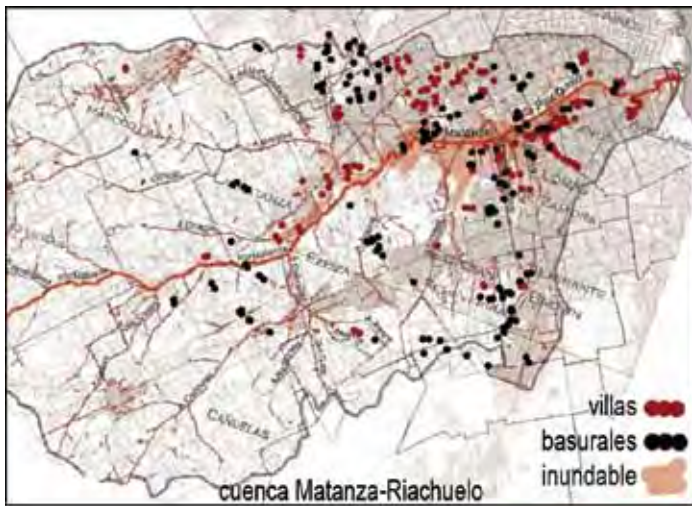
cambio, el fósforo es absorbido por las partículas del suelo y es arrastrado por la erosión o disuelto en el agua. Las medidas para contener la eutrofización son: procesar las aguas residuales en estaciones depuradoras; almacenar el estiércol que se usa en agricultura; usar fertilizantes eficientes y sin excesos; mantener una cubierta de vegetación durante el invierno para reducir la erosión del terreno.

Un proceso similar es la "marea roja" que es un florecimiento de algas nocivas en los mares. En el verano las microalgas (dinoflagelados) del fitoplancton se reproducen en gran número en los mares costeros; son millones de células por mm³. Producen toxinas paralizantes que matan peces, contaminan mariscos y cuando se convierten en aerosol huelen repugnante y dificultan la respiración cerca del agua. Es un hecho normal que puede o no ser tóxico y cuyo color depende de las algas que intervienen (el rojo es el más frecuente). El consumo de mariscos con las toxinas de este fitoplancton produce envenenamiento en los humanos. Hace 180 años, Darwin señaló estos fenómenos en las costas de Brasil, Argentina y Chile.

El caso: "restauración de humedales". En los alrededores de Buenos Aires, un 70% de los barrios cerrados (*countries*) y urbanizaciones se establecieron sobre o cerca de valles fluviales. Construidos en terrenos de bajo costo, fueron rellenados cerrando la escorrentía na-

tural de la llanura. Cuando se producen lluvias excepcionales los ríos (p.e., Reconquista y Luján) ocupan el valle entero produciendo inundaciones que desembocan en un angosto canal de desagüe. También la ciudad de Luján está en un valle de inundación, pero fue fundada en 1755 cuando nada se sabía sobre estas cuencas. La conversión de llanura de inundación en tierras de cultivo y residencial producen muchos daños. Las llanuras aluviales naturales sirven como amortiguador de las inundaciones, recargan los acuíferos subterráneos, depuran las aguas contaminadas (son los "riñones de la naturaleza") y proporcionan refugio para peces y anfibios.

La restauración del ecosistema es compleja y como disciplina lleva 40 años de trabajos ordenados. Por ejemplo, un proyecto para restaurar el flujo en la Bahía Wilson (Oregon) recuperará el 10% de la superficie de la marea histórica de la cuenca. Para permitir que las aguas fluyan sobre la llanura de inundación, se piensa eliminar 15 km de diques y construir 1 km adicional. Las inversiones para restaurar humedales son elevadas y con pocos resultados. Los trabajos no logran recuperar la biodiversidad, estructura y funciones originales (son versiones simplificadas). Un humedal es "funcional" cuando llega a una estabilidad dinámica, pero restaurarlo no significa recuperar al original. Durante la restauración los caminos se bifurcan dependiendo de las plantas que lo colonizan y de los daños recibidos durante la intervención humana.



1312. Problemas en los ríos. La cuenca Matanza-Riachuelo (arriba) es un caso extremo de contaminación debido a 200 años de mal uso y descuido de un bien común. Un peligro más reciente son las hidrovías (abajo). Se trata de "carreteras" en los ríos para facilitar el transporte fluvial. El impacto ambiental incluye el dragado y la rectificación de meandros y pérdida de humedales.

En un estudio donde se evaluaron 621 humedales restaurados en todo el planeta (biodiversidad y funciones biológicas, geológicas y químicas) se encontró que debieron pasar 50-100 años para recuperar el 75% de la biodiversidad y las funciones del ecosistema. En un ensayo en Wisconsin (Estados Unidos) se escavaron 3 parcelas paralelas de 90x5 m y se sembraron con igual tipo de plantas. El agua que circulaba se reguló en forma idéntica con el objetivo de medir los servicios de purificación de un humedal y aplicarlo a las aguas pluviales de la ciudad de Madison que desaguan en el lago Wingra. Tres años más tarde, los resultados indicaron que cada estanque siguió un camino de recuperación distinto y distaban de tener la vegetación esperada. Analizando el subsuelo se encontraron diferencias en la capa de arcilla lo que afectaba a la absorción. La enseñanza fue que se debe abandonar la idea de recrear el humedal anterior, que la cantidad de variables es mucha y se desconoce el camino que va a seguir el ecosistema.

Por eso es mejor preservarlos que restaurarlos. Por ejemplo, en China se decretó un límite inferior de 53 Mha de humedales a ser conservados. Pero, con la tendencia de pérdida del 2015, en el 2020 esta línea roja se romperá. La mitad de los humedales costeros en China desaparecieron en los últimos 50 años, junto con el 70% de los bosques de manglares y el 80% de los arrecifes de coral cercanos a la costa. Además, otras políticas compiten con la conservación de humedales. Por ejemplo, para salvaguardar el suministro de alimentos, China definió un límite mínimo de 120 Mha de tierra cultivable. Así, cualquier tierra agrícola perdida para el desarrollo de ciudades e industria, debe ser compensada por una superficie equivalente, que bien podría provenir de los humedades.

El caso: "laguna Epecuén". En el oeste de la provincia de Buenos Aires se encuentra una decena de "lagunas encadenadas". Son las lagunas Alsina (106 msnm), Cachicó (105 msnm), del Monte (103 msnm), Venado (102 msnm) y Epecuén (96 msnm). En forma sucesiva se encuentran a menor nivel y la salinidad aumenta por escorrentía. Las Termas de Carhué están en la laguna Epecuén y debido a las sequías de mediados del siglo XX, el sector turístico presionó para construir canales y disponer de más agua. En la década de los '80 una serie de años muy lluviosos rompió las defensas en 1985 y se inundaron los sectores periféricos de la ciudad. La villa turística se perdió bajo 10 m de agua (cota de 1993). Recién en el 2010 se pudo acceder al cementerio y la Villa. La intervención mediante dragado destruyó los diques naturales que mantenían un flujo regulado de agua entre lagunas.

(3) Los ríos se pudren. Los aportes de líquidos y sólidos minerales de la industria son una causa importante de contaminación de los ríos. Las grasas y aceites derivados del petróleo se difunden por la superficie del agua, de modo que pequeñas cantidades pueden cubrir grandes superficies. Disminuyen el oxígeno disuelto y absorben la radiación solar, afectando la actividad fotosintética. Los detergentes generan espuma en la superficie. El fenol se acumula en la cadena trófica (truchas, salmón y anguilas). En las plantas de cloración los fenoles generan clorofenoles, lo que confiere al agua un sabor desagradable.

Los sólidos provienen de la erosión natural, la minería y las demoliciones urbanas. Los vertidos de basura (plásticos, vidrios, latas y restos orgánicos), llegan al agua por filtración en las ciudades o desde vertederos a cielo abierto. La materia inorgánica puede ser tóxica, como las sales de metales pesados. La salinidad inducida disminuye la concentración de oxígeno disuelto, favorece la formación de espumas

y aumenta la presión osmótica. Los sólidos en suspensión absorben la radiación solar en la superficie, reduciendo la fotosíntesis por debajo. También, obstruyen los cauces, embalses y lagos. Algunos minerales pueden corroer los materiales y encarecer el costo de depuración del agua. Puede incluirse sustancia radioactiva proveniente de la minería, industrias, y usos médicos o científicos.

Por ejemplo, el Río de la Plata está contaminado por los vaciados industriales y de las ciudades. Un importante contaminante actual son los agroquímicos usados por el campo y que escurren por los afluentes. Las "arenas" que se ven en la costa de la ciudad de Buenos Aires provienen, en su mayoría, de la meteorización de materiales de demolición. Las costas se llenan de envases de plástico en cada sudestada lo que muestra el descontrol de la basura. Otra fuente de contaminación es el tráfico fluvial para el comercio de granos en el río Paraná. En Europa el río Danubio está afectado por la contaminación de fábricas químicas bombardeadas en 1999 en Serbia. El río Grande (Estados Unidos) tiene más de 100 represas y acueductos que redujeron el caudal y aumentaron la evaporación, teniendo épocas de sequía sin agua. El río Indo (Pakistán) depende de los glaciares que están en retroceso y el caudal disminuye. El río Mekong está contaminado de mercurio (amenaza a 1,7 millones de personas) y arsénico (afecta al 21% de la población vietnamita). El río Ganges (desde Himalaya al Golfo de Bengala) mantiene al 10% de la humanidad. El Yamuna (afluente del Ganges) está seriamente contaminado por la industria y bacterias coliformes fecales con millones de veces más concentrado que el límite. Son 118 los pueblos que descargan las aguas residuales no tratadas. El Ganges es la última diosa dadora de vida y de autolimpieza para los hindúes y esta creencia refuerza una norma cultural que es aceptable: utilizar el Ganges como un cubo de basura. El hinduismo está vinculado al cuidado del mundo natural y está claro que el Ganges es sagrado pero es necesaria otra forma de relación.

Un caso diferente de intervención humana es el río Chicago que fluye cruzando la ciudad de Chicago (Estados Unidos). En el siglo XIX se realizó una obra de ingeniería por razones de higiene que alteró la dirección del río. De esta forma en lugar de desembocar en el lago Michigan, se dirigió al sur hacia la cuenca del Mississippi. El objetivo fue evitar la contaminación del lago con los residuos pluviales y cloacales que produjeron epidemias de tifoidea y cólera en 1885. En el 1900 se invirtió completamente el sentido de circulación mediante compuertas y en 1990 se inició un proceso de limpieza de basura. Un estudio reciente encontró que mientras el agua superficial sigue un sentido este-oeste, el sedimento del fondo lo hace en sentido contrario, agregando problemas para el futuro. La ciudad tiene permitido retirar 91 m³/s de agua del lago, donde la mitad es para alimentar al río y la otra mitad se usa para agua potable.

El caso: "Riachuelo". El Instituto Blacksmith, en su informe del 2013 sobre áreas contaminadas del planeta, presenta 3.098 sitios tóxicos que afectan a 84 millones de personas. En el "top-ten" se encuentra la cuenca Matanza-Riachuelo (puesto N° 8) y rivalizando con Chernobyl (N° 2). Las ciudades de China e India ya no están entre las más contaminadas; tampoco hay ninguna en todo el listado de países desarrollados. Pero en muchos casos son los responsables por derivar la producción contaminante a los países periféricos.

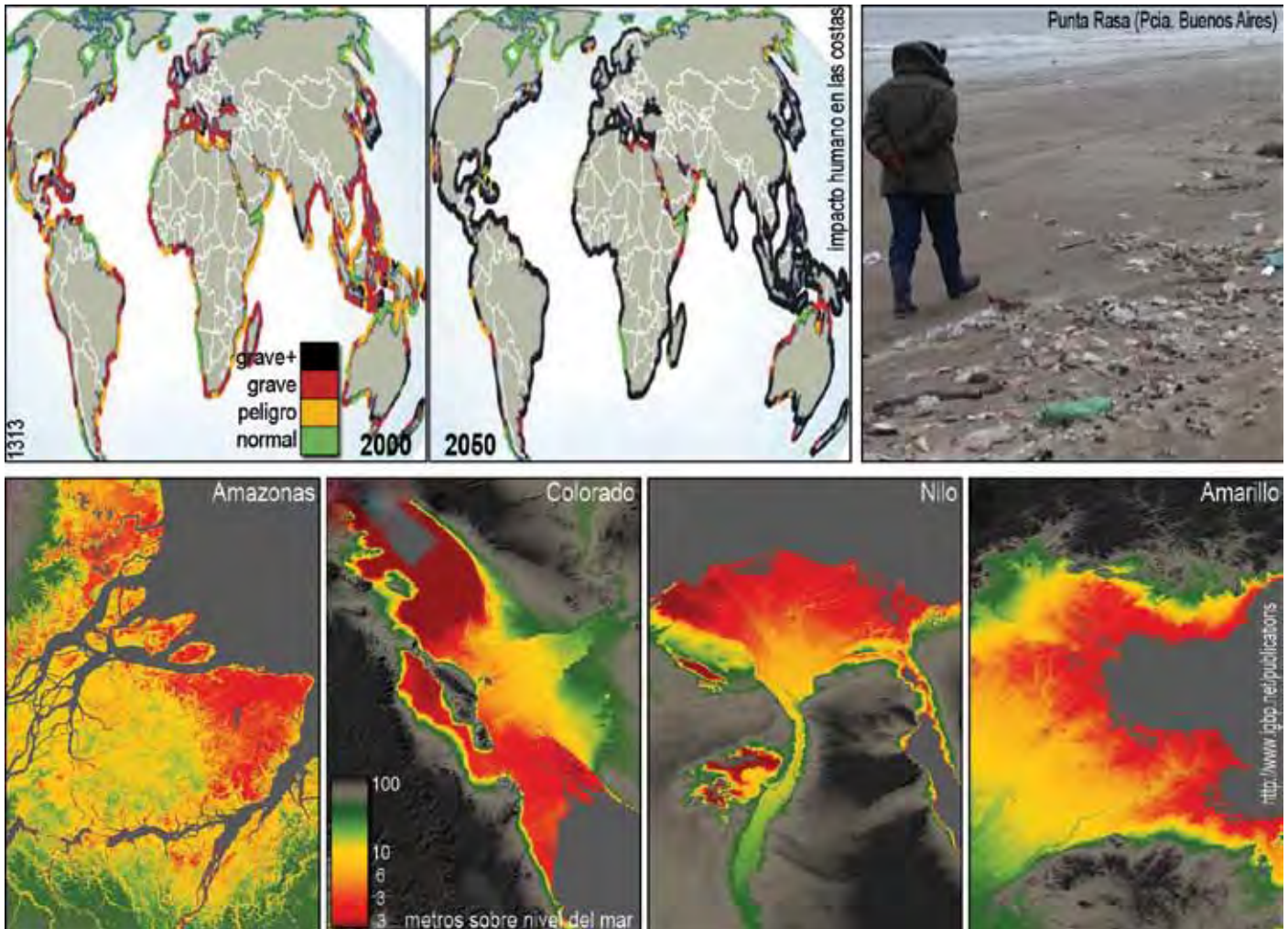
La contaminación de la cuenca Matanza-Riachuelo es un caso emblemático de mal uso en forma continuada de un recurso hídrico. El

problema se inicia hace 200 años con la instalación de curtiembres y saladeros que vertían materia orgánica (sangre, grasa y carne). Para 1870 el Riachuelo estaba tan contaminado que no existía vida orgánica. Había 52 astilleros y se instalaron las primeras industrias y frigoríficos. Se comenzaron a verter sustancias inorgánicas que el río no podía procesar. Una conducta de este tipo, con un recurso que es común a toda la comunidad, fue descrito como "la tragedia de los comunes" (G. Hardin-1968). Consiste en seguir el siguiente razonamiento: "si yo no uso este recurso, otro lo hará"; "lo poco que yo lo utilizo no llega a contaminar"; "además el recurso es renovable". El Riachuelo es un ejemplo inmejorable de este tipo de conducta acumulativa.

En el 2006 se creó el ACUMAR (Autoridad Cuenca Matanza-Riachuelo) que es el organismo gubernamental para el saneamiento de la cuenca. Hacia 2012 las cifras oficiales y de organizaciones ambientalistas indicaban que la cuenca tenía 5 millones de personas (12,5% de la población de la Argentina). Había 500.000 personas en asentamientos cercanos. Existían 20.000 industrias registradas sobre la cuenca, donde 1.400 eran contaminantes. El 30% de las industrias eran farmacéuticas, químicas y petroleras. Se calculaba que había 360 basurales

a cielo abierto, usados por muchos desocupados. El 34% de los vertidos al río eran residuos. La proporción de metales pesados (plomo, zinc y cromo) era 50 veces mayor a lo permitido. Se volcaban 88.500 m³/día de aguas servidas, la amplia mayoría sin tratamiento alguno. El 35% de la población total no tenía agua potable y el 55% no tenía cloacas. El 53% de los hogares estaban en grado de vulnerabilidad sanitaria. Había un 30% de mortalidad infantil por causa de enfermedades hídricas (el doble del resto de la ciudad de Buenos Aires). En la zona comprendida entre Puente La Noria y La Boca (15 km) había 4 millones de m³ de barro contaminado como resultado de dos siglos de vertidos orgánicos descontrolados. El agua no tenía oxígeno (0,5 mg/litro, 10 veces menos de lo necesario para la vida).

En el 2015 la FAUBA (Facultad de Agronomía de la UBA) alertó sobre las obras de dragado en la boca del Riachuelo. La cantidad de metales pesados (cromo, plomo, zinc, cadmio y arsénico) coloca a los sedimentos en "clase 4". Los estándares más elevados impiden relocalizar ese material en aguas abiertas como se realizó a 25-35 km de la costa en el Río de la Plata con 3 millones de m³ de sedimentos. Un problema es que los sedimentos que pasan del medio anaeróbico (Ria-



1313. El impacto humano en costas y deltas. Ciertas zonas del planeta son las más afectadas por la actividad humana (arriba-izquierda). En las costas el impacto es el resultado de la expansión urbana y el desarrollo costero. En América Latina el 80% de las aguas residuales vertidas al mar no son tratadas. Muchas especies marinas son sensibles a los cambios de temperatura y oxígeno, lo que reduce la vida en el agua. Otros contaminantes en las costas provienen de la producción agrícola y la petrolera. El progreso en el control es tan bajo que se espera un incremento irreversible en la pérdida de calidad en las costas (derecha). Los deltas de ríos se hunden como producto de varias causas concurrentes, como la compactación de sedimentos y la extracción de agua dulce. Entre los deltas en riesgo, debido a la pérdida de altura sobre el nivel del mar, están el río Amazonas, Colorado, Nilo y Amarillo (abajo). Las zonas rojas se encuentran bajo el nivel del mar y expuestas a las inundaciones.

chuelo) a uno aeróbico (Río de la Plata) se oxidan y vuelven peligrosos, y las aguas del río sirven de agua potable para 17 millones de personas. Otro problema es que el nivel de cromo y cobre supera los valores de protección del fitoplancton y zooplancton. El Río de la Plata además es un estuario que recibe las mareas desde el océano y el flujo se puede revertir (sudestadas). Además, el estuario se comparte con Uruguay por lo que podría ser materia de conflicto internacional. Desde ya que las autoridades niegan cualquier peligro. En forma natural al Río de la Plata llegan al año cerca de 160 Mt de sedimentos, donde el 70% son aportados por el río Bermejo, bajando desde los Andes.

La extracción de la basura y los cascos de barcos hundidos del Riachuelo mejoró la escorrentía del agua, en un río que circula a 2-8 m³/s. Sin embargo, de 38 puntos de monitoreo en 33 se mantiene la categoría de contaminación media; 2 empeoraron de media a alta y 3 pasaron de alta a media. Los contaminantes medidos son los metales (cadmio, cromo, zinc y mercurio). La mejoría para el 2015 obedece a la escorrentía por el trabajo de recolección de residuos y la limpieza de márgenes. Se habían relocalizado 500 familias de las 17.000 que deben mudarse. Un cambio adicional se notará con la obra del colector cloacal de la margen izquierda, que llevará los líquidos cloacales al Río de la Plata. Luego de ser tratados en una planta depuradora, los líquidos llegarán al Río de la Plata por un emisario subfluvial, que tendrá 3,8 metros de diámetro y estará a 30 metros de profundidad.

(4) El transporte fluvial. Otro problema es el dragado de los ríos para mantener la navegación. Se sabe que la cantidad de especies, riqueza y número se reduce con el aumento de la profundidad del dragado. Uno de los problemas es la turbidez del agua y la falta de luz. El dragado cambia las condiciones de manera que la población nativa de peces se ve afectada y desplazada por otras que se adaptan mejor a las nuevas condiciones. La sedimentación puede afectar al desove. Sobre la Cuenca del Plata se proyectó la Hidrovía de 3.440 km de largo desde el Puerto Nueva Palmira (Uruguay), recorriendo los ríos Paraná y Paraguay, con extremo en Puerto Cáceres (Brasil). Es un proyecto para la integración del Mercosur que debe permitir la navegación de convoys de barcasas con 200 m de largo, 16 m de ancho y 3,5 m de calado. Los argumentos a favor son: permitirá descomprimir el tráfico de camiones reduciendo las emisiones de GEI; volver previsible el tráfico fluvial generando puertos intermedios; integrar a Bolivia y Paraguay con una salida de exportaciones.

Los ríos Paraná y Uruguay conviven en forma natural. El Paraná crece en verano y el Uruguay en invierno debido a diferentes regímenes de lluvia y absorción. El río Iguazú crece en invierno y compensa la bajante del río Paraguay y Paraná. El Pantanal retarda 4 meses los efectos de las inundaciones. La construcción de la Hidrovía tiene varias objeciones ambientales. Se requiere mantener el dragado y hacer obras de rectificación (enderezamiento) de tramos de canales, incluyendo el dinamitado de zonas rocosas. En el extremo norte de la Hidrovía, está el Pantanal (Brasil). Es el humedal más grande del mundo (150.000 km²) y actúa como una esponja que absorbe agua en temporada de lluvias y la libera lentamente. En el verano el Pantanal se inunda con metros de agua y muchas especies de aves migran a la Argentina. En invierno vuelven al Pantanal a reproducirse (p.e., cigüeña Tuyuyú). Una muralla rocosa al sur de Pantanal funciona como una represa natural, de forma que la canalización afectaría la vida silvestre y la cría de ganado. Esto aumentaría el escurrimiento aguas abajo (Paraguay-Argentina) y el caudal podría inundar zonas costeras del río Paraná por estaciones

anuales, afectando a las poblaciones ribereñas y la vida silvestre. Debería agregarse la pérdida de humedales, el deterioro de la calidad del agua y la pérdida de vegetación flotante (camalotales) con la caída de productividad del sistema.

Una revisión del proyecto asegura que no interrumpirá los ciclos naturales de los ecosistemas y que acomoda el tamaño de las barcasas a las características del río. Esto es opuesto a lo realizado en el Mississippi y el Rhin. La Hidrovía del río Rhin requirió una fuerte intervención humana para hacerlo navegable. En el caso del río Mississippi (Estados Unidos) la Hidrovía transporta el 80% de la producción agrícola de Estados Unidos. La agricultura, industria y ciudades vuelcan al año 1,6 Mt de nitrógeno en el Golfo de México, que eutrofizan las aguas y generan una "zona muerta" de 14.000 km² y 60 m de profundidad (datos del 2014). Para recuperar la regulación natural del río que se perdió por las obras humanas, se están eliminando represas y recuperando meandros y bañados. Se estima que se requiere la restauración de 2,2 Mha de humedales para eliminar el 40% del nitrógeno que genera la agricultura y que terminan en el Golfo. Los objetivos son: reducción de hipoxia (aguas con poco oxígeno) en la desembocadura; mejorar la calidad del agua y la salud pública; crear hábitat y ecosistemas nuevos y mitigar las inundaciones. Por ejemplo, *The Nature Conservancy* ayuda a los agricultores a crear zanjas de drenaje que generan una llanura de inundación que reduce la velocidad del agua, preservando el suelo.

(5) Los deltas se hunden. Los deltas ocupan el 1% de la superficie terrestre y alberga al 7% de la humanidad. De los 24 mayores deltas el 85% experimentan severos hundimientos. Por nivel de riesgo, el delta del Paraná se encuentra en riesgo bajo (amarillo). Entre los de alto riesgo (rojo) están el Yangtse y Amarillo (China), San Francisco (Brasil) y Nilo (Egipto). Los deltas se forman por acumulación de sedimentos que provienen de aguas arriba. En los últimos 50 años se construyeron grandes represas hidroeléctricas que cortaron el flujo de sedimentos y no se llega a compensar la compactación en los deltas. Otra causa de hundimiento es por la extracción de materiales subterráneos (agua, petróleo y gas). Además está el aumento del nivel del mar que incrementa el efecto de hundimiento y las grandes tormentas que producen elevaciones del mar de corta duración pero pronunciadas. Las poblaciones prefieren los deltas porque los terrenos son planos con muy poco desnivel; tienen suelos muy ricos con buenas tierras de cultivo y tienen facilidad para el transporte fluvial. Por eso los deltas son el origen de grandes ciudades y 1.500 millones de personas viven en ellos.

En el delta del Mississippi se construyeron compuertas para contener el agua que ingresa sobre New Orleans desde el Golfo de México. Pero tienen además el problema de la contaminación que arrastra el río desde las áreas agrícolas y produce eutrofización en la desembocadura. El problema de las represas es grave porque se construyen para muchos años y tardan décadas en que los sedimentos las vuelvan inútiles. El delta del río Nilo sufre por la represa en Asuán (30 de las 47 especies de peces comerciales se han extinguido). En el río Uruguay, la represa Salto Grande es culpable de la erosión de las costas del río y otros efectos aguas abajo sobre el delta del Río de la Plata. Además, impide la migración natural de especies como sábalos (procesado en forma industrial para harina de pescado) y la pesca artesanal de surubíes, patíes y dorados. El pacú y salmón de río no llegan al sur de la represa. Otras especies siguen migrando pero se propagaron al Paraná.

El delta del río Amarillo (China) se hunde a razón de 25 cm por año y además recibe tifones de 5 m de altura. Las tormentas hacen ingresar el agua salada e inundan los campos. En el delta del Indo (Pakistán), unas 2 millones de personas abandonaron la zona por la salinización. El delta del río Po (Italia) se hundía debido a la extracción de gas desde el subsuelo. Una vez que se interrumpió la explotación se hunde al 10% de velocidad. En forma opuesta se sugirió inflar el interior del subsuelo en Venecia para elevarla (una medida de geoingeniería). El delta del río Chao Phraya (Bangkok) se desmorona por la extracción de agua dulce para la ciudad, por lo que se introdujeron impuestos al agua para ducha.

En el río Mekong, la causa del hundimiento es la pérdida de manglares para convertir las tierras en arrozales y acuicultura. Los manglares son bosques densos de arbustos que crecen en aguas salobres y previenen la erosión actuando como defensa contra los flujos de agua. Un ciclón que llegó a la India en 1999 produjo daños en al menos 409 aldeas pobres. La proporción de muertes fue mayor en aquellas que habían quitado los manglares. En Asia se encuentra el 42% de los manglares del mundo. Investigaciones recientes encontraron que el delta del Mekong está a 2 metros sobre el nivel del mar y se hunde a 1-5 cm/año. Los culpables son las represas que impiden la llegada de sedimentos y millones de pozos perforados desde la década de 1980 para la agricultura. Al ritmo actual

de extracción de agua, el delta del Mekong perderá un metro para el 2050.

Los manglares protegen los deltas y se reducen por la sobreexplotación de la madera y el carbón vegetal, la expansión urbana y la construcción de carreteras de la costa. Por ejemplo, Filipinas y Tailandia han perdido más del 65% de sus manglares. La industria del camarón de la acuicultura representa una de las amenazas más graves a los manglares. Para fabricar piscinas camaroneras se excava un metro en el sustrato humedal, luego se llena con agua salobre y camarones. Sin bosques de manglares el mar pierde significado; porque "los manglares son las raíces del mar": los rendimientos de pesca mediante red en lagunas de Sri Lanka cayeron de 20 kg/día a 4 kg/día en las zonas sin manglares. Sri Lanka ha anunciado sus planes de ser el primer país en dar plena protección a los manglares. Muchas de las lagunas se encuentran en el noreste de Sri Lanka que fue centro de una guerra civil que terminó en 2009. Durante la guerra, los manglares se convirtieron en refugios para rebeldes tamiles y muchos fueron destruidos durante los combates. Otra amenaza es la recolección de madera para hacer carbón, por eso se educa para usar fuentes alternativas como ser briquetas de cáscara de arroz. Como los camarones a menudo sucumben a enfermedades, los estanques quedan abandonados. Así fue que en Honduras se rellenaron dos granjas camaroneras abandonadas que fueron construidas ilegalmente en un sitio Ramsar para remediar el daño.

El agua (ii): los mares y océanos

Los problemas que enfrentan los océanos son varios: (1) la pesca reduce la abundancia de vida marina y destruye el fondo debido a las redes de arrastre; (2) el transporte marítimo poluciona con azufre del combustible, transporta especies invasoras entre continentes y pierde contenedores durante las tormentas; (3) con la llegada de nutrientes desde la agricultura se produce eutrofización de las costas y los desechos plásticos forman "islas" en los océanos; (4) el desarrollo urbano reduce los ambientes costeros; (5) a la explotación de petróleo submarino (offshore) se suma la futura minería; (6) la industria elimina metales pesados que ingresan en la cadena trófica; (6) el incremento de CO_2 produce la acidificación del agua (que afecta a los corales) y aumenta la temperatura (que afecta la producción de clorofila); (7) los ruidos de origen humano (sonares o explosiones) afectan a los mamíferos marinos que se orientan por el sonido; (8) el calentamiento derrite el Ártico y modifica la salinidad pudiendo afectar a las corrientes marinas. Algunos de estos aspectos son tratados a continuación.

(1) El CO_2 y la acidificación. En los arrecifes de Papua Nueva Guinea, se comenzó a comprender el efecto del CO_2 sobre la vida marina. Cerca de escapes de CO_2 proveniente de ventilaciones volcánicas submarinas, se encontró que los corales no brotaban y solo se encontraba un fondo fangoso. Entonces, se comprendió que el aumento de CO_2 modifica el pH del mar y afecta a los corales. Hasta ese momento parecía que los océanos podían salvar a la atmósfera al absorber CO_2 excedente sin costo alguno. Se llegó a proponer inyectar CO_2 desde la atmósfera al océano, como mecanismo de secuestro de carbono. Puede ocurrir que el aumento de CO_2 en el océano beneficie a ciertas algas fotosintetizadoras y a cianobacterias que fijan nitrógeno, lo que

aumentaría la actividad biológica en aguas que hoy son estériles. Pero, los costos globales pueden ser más altos que los beneficios puntuales.

El océano tiene capas relativamente estables de temperatura y salinidad; una mezcla de aguas muy lenta entre la superficie y el fondo y una debilidad intrínseca en la fauna abisal (fondo marino) que es más vulnerable a los pequeños cambios. Debido al incremento del CO_2 el pH disminuyó de 8,2 a 8,1 desde el año 1750, con proyecciones de 0,14-0,35 adicionales hasta el 2100. En realidad, los océanos se están haciendo "menos alcalino" (es una tendencia a la acidificación) ya que el valor de 8,1 es superior al pH neutro de 7.

Un estudio en el Mediterráneo verificó que en los últimos 30 años la acidificación aumentó un 10% y hacia el 2050 podría llegar a 30%. En el mismo plazo de 30 años la temperatura aumentó 0,67 °C y para el 2050 podría aumentar entre 1 y 1,5 °C. Así, se reduce la proporción de peces y moluscos y aumentan las medusas que soportan mejor la acidificación y calentamiento del agua. Esto afecta tanto a la pesca y la acuicultura, como al turismo. En el Mar Argentino la acidificación empieza a afectar las conchas de los pterópodos (pequeños caracoles marinos) y con ellos a toda la cadena trófica (son básicos como alimento del salmón rosado).

El aumento de CO_2 incrementa la temperatura de los océanos y reduce el oxígeno. En un estudio europeo se determinaron las consecuencias de un aumento de 2 °C en el agua superficial de los océanos para el año 2100. La biomasa del fitoplancton caerá 6% y del zooplancton el 11%. Esta diferencia producirá un desbalance en la cadena trófica.

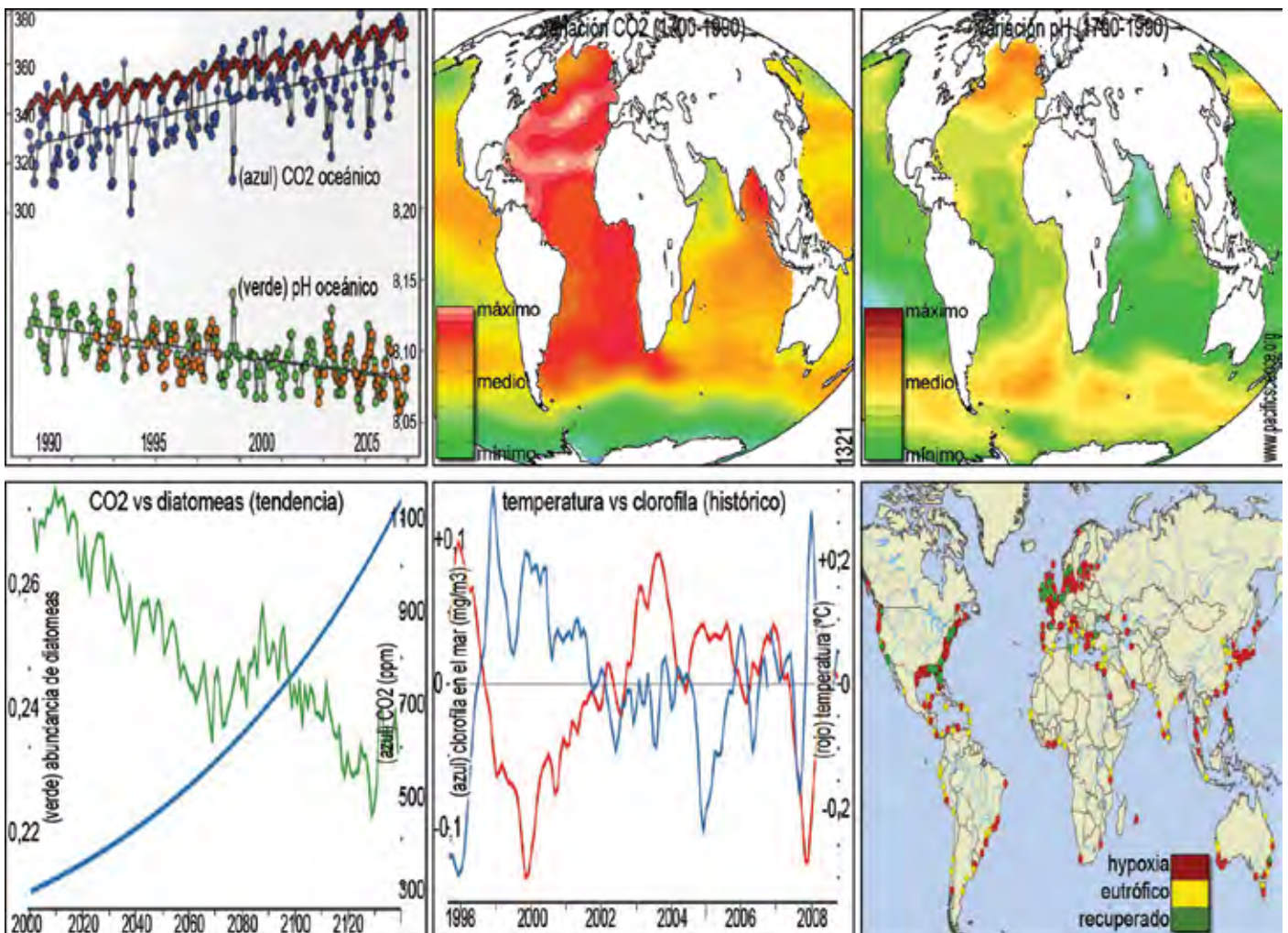
ca (afectando a los niveles superiores) y la absorción de CO_2 por parte del fitoplancton (responsable de la mitad de la actividad fotosintética del planeta). Esto reducirá la capacidad del océano de regular el clima.

La descalcificación. El CO_2 disuelto en agua (H_2O) consume iones de carbonato de calcio (CaCO_3) para producir ácido carbónico (H_2CO_3); el cual se descompone en iones hidrógeno ($\text{CO}_3 + 2\text{H}^+$) y reduce el pH. El consumo de carbonato sustrae el calcio que necesitan los organismos marinos. Un 30% de la vida marina requiere de los iones carbonato para crecer y formar conchas (coral, crustáceos, moluscos). Se ha dicho que es "la supervivencia del más grueso". Esto reduce las zonas aptas para la vida de estos organismos calcáreos, donde las aguas más afectadas serán las polares y las profundas.

Algunos organismos deberán hacer mayores esfuerzos (gasto de energía) para mantener la estabilidad interna. Otros podrían ver afectada su capacidad reproductiva, los procesos respiratorios y la conducta. Por ejemplo, en el erizo de mar los espermatozoides pierden movilidad y velocidad cuando se reduce el pH; por lo que la fecundación externa puede verse afectada. En embriones de caracol la proporción de eclosiones de huevos se reduce y los que eclosionan tienen menor movilidad. En los erizos y caracoles adultos la velocidad de crecimiento es menor.

La conducta se altera por cambios en la cadena alimenticia al disminuir los organismos calcáreos; pero también puede afectar la recepción de estímulos olfativos. Se verificó que el incremento del CO_2 en el mar produce que los peces pierdan la capacidad de distinguir entre olores y reconocer la comida. Se comprobó que los peces pequeños se aventuran más lejos de los escondites y son atrapados con mayor frecuencia por los predadores. Una reducción del pH en 0,3 unidades aumentará la velocidad de propagación del sonido en un 40%. Los océanos podrían ser más ruidosos y los mamíferos marinos resultar alterados porque usan el sonido para la comunicación a larga distancia.

El coral blanco. Las temperaturas más cálidas del agua dan lugar a la decoloración de los corales. Las algas zooxantelas viven asociadas en los tejidos del coral y con agua muy cálida producen una oxidación del agua, por lo que los corales las expulsan y aparecen de color blanco. Aunque pueden sobrevivir a un evento de blanqueamiento, se encuentran bajo stress y sujetos a mortandad. Si el calentamiento es de corto plazo (hasta 10 días), la población de zooxantelas se recupera. En 2005, los Estados Unidos perdió la mitad de sus arrecifes de coral en el Caribe debido a un evento de blanqueamiento masivo. La fotografía satelital confirma que el stress térmico del 2005 fue superior a los 20 años anteriores acumulados. Otro caso fue en enero de 2010, la temperatura cayó $6,7^\circ\text{C}$ respecto al valor normal en los Cayos de Florida. El



1321. Biomasa y variables físicas. El incremento del CO_2 en el océano es proporcional a la disminución del pH (arriba-izquierda). La concentración de CO_2 y el pH del agua de mar son diferentes en los distintos océanos (centro y derecha). Un aumento de CO_2 produce la reducción de abundancia de diatomeas (abajo-izquierda), en tanto que la variación de temperatura afecta a la cantidad de biomasa vegetal en el mar (centro). El mayor impacto humano ocurre cerca de las costas de las zonas industriales, estando la mayoría muy afectadas, con muy pocas que se recuperaron (derecha).

stress térmico provocó un evento de blanqueamiento de coral llevando a la muerte en algunos casos.

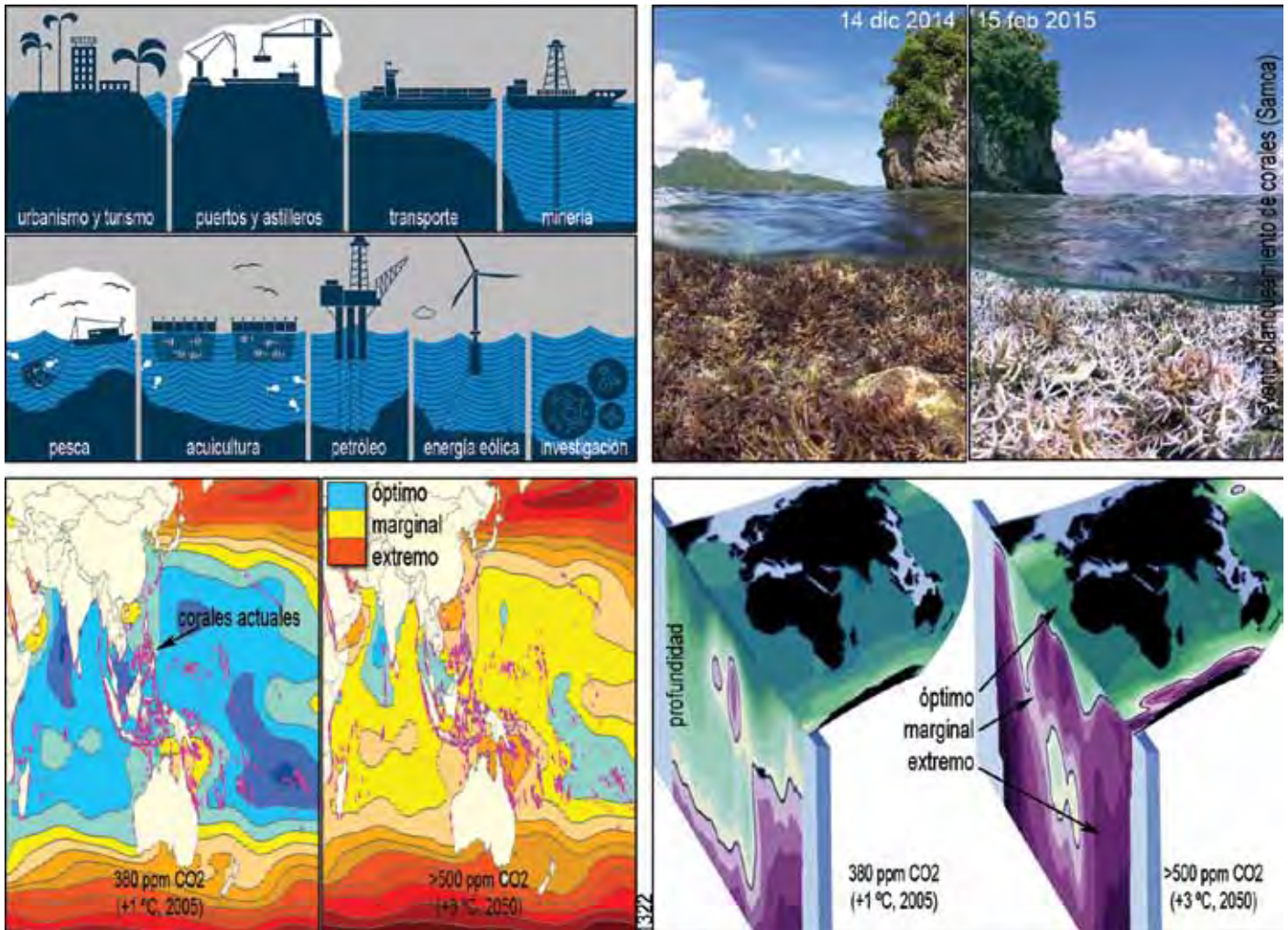
Los cambios de pH a largo plazo se ven compensados con la adaptación de las especies. Cuando los cambios son muy rápidos las especies de ciclo de vida corto (fitoplancton) pueden adaptarse mejor que las otras. Como elemento comparativo, un evento de cambio rápido del pH oceánico hace 56 Ma dio lugar a los que se conoce como límite Paleoceno-Eoceno. El pH actual sigue una tendencia 10 veces más rápida que en ese período.

(2) El caso: "sopa de plástico". Desde hace décadas un porcentaje pequeño de los plásticos producidos se acumula en los mares. Se estimó en 0,1% de la producción mundial anual. El plástico flota desde la tierra, se mueve con las corrientes marinas, se degrada muy lentamente, absorbe químicos, se hunde si son pesados o termina en la cadena trófica si son muy pequeños.

El área más importante afectada por la acumulación de plástico está en el centro del océano Pacífico Norte. Se descubrió en 1997 y tiene un tamaño de 1,8 Mkm² (2200x800 km, equivalente a más de

la mitad de la Argentina). Se mueve dentro de una zona extensa, es bastante definida y con centro de las corrientes marinas. No es visible mediante fotografía satelital y no es posible localizarlo con radares. El 80% proviene de zonas terrestres y el resto de barcos de transporte y pesqueros. Las corrientes llevan los desechos desde Norteamérica hacia el vórtice en unos 5 años, y desde Asia en un año o menos. También el Atlántico e Indico tienen vórtices y plástico en suspensión. Durante el año 2014, en la búsqueda del avión de Malaysia Airlines MH370, el uso de fotografía satelital se vio dificultada por los restos a la deriva de pescadores. Todas las observaciones se mostraron fallidas sobre el Océano Indico.

En el año 2011 se informó que las mediciones precisas en la superficie solo detectaron una fracción (1%) del plástico estimado. La estimación en el 2014 fue de 269.000 toneladas y se comprobó que el fondo del mar tiene una abundante cantidad de microplástico (0,1 mm). Los plásticos son fotodegradables y se desintegran en pedazos cada vez más pequeños por acción de los rayos UV. Nunca se biodegradan, no cambian de fórmula química, son siempre plásticos y el proceso continúa hasta llegar a nivel molecular (lo que lleva cerca de 500 años). Las mediciones indican la siguiente distribución: 39% mayor a 1 mm



1322. Temperatura, CO₂ y pH contra los corales. Los problemas que se acumulan en los océanos son varios (arriba-izquierda): desde las costas por desarrollo urbano y turismo, los puertos y astilleros; el transporte; la pesca y acuicultura; la industria del petróleo y minería. Varios problemas son concurrentes para producir el aumento de temperatura y CO₂, y la reducción del oxígeno y el PH. Estos cambios producen la acidificación del agua lo que dificulta la adaptación de los corales (derecha). Se muestra el estado actual y el estimado para el año 2050. Las zonas óptimas para los corales tienden a reducirse (abajo) lo que llevará a un colapso importante en los próximos decenios. La acidificación abrupta produce el "blanqueamiento" de los corales y la acidificación prolongada produce la muerte. Se estima que para el 2050 solo el 15% de los corales estarán en aguas favorables para el desarrollo.

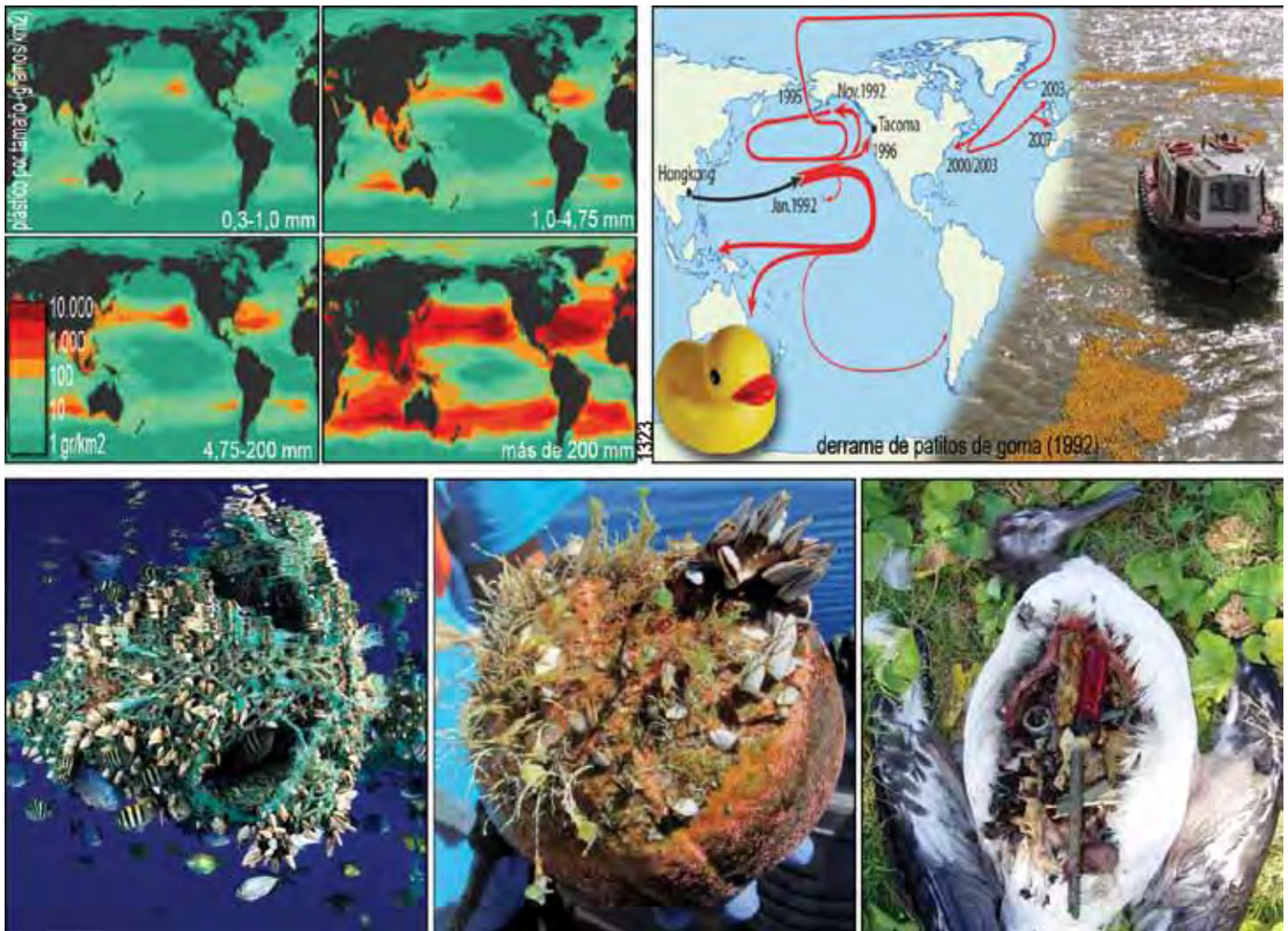
un planeta

de ancho; 35% de 1 mm, 16% de 0,5 mm y 10% de 0,3 mm de ancho. Se concentran en la parte superior del océano y pueden llegar a ser tan pequeño que son absorbidos por los organismos marinos que viven cerca de la superficie. En algunas áreas la concentración de plástico en 1999 era 6 veces mayor al zooplancton. Además, se confirmó que la concentración de desechos ocurre en la superficie, hasta unos 10 m de profundidad (los más pesados caen al fondo).

Se estima que durante las tormentas, los barcos pierden varios miles de contenedores al año; aunque se informan muchos menos ya que se elude las pérdidas. Un conocido derrame en el Pacífico en 1992 liberó 29.000 patos de goma amarillos y otros juguetes que cayeron al mar durante una tormenta en un viaje desde Hong Kong a Estados Unidos. Los juguetes fueron encontrados en todas las costas y los científicos los usaron para comprender las corrientes marinas. En el Ártico tardaron 5 años en cruzarlo debido a que quedaron congelados en el hielo que se mueve a 1,6 km/día. Otro derrame ocurrió en 1997 cuando

una ola gigante golpeó contra un portacontenedores y 62 cayeron al mar. En uno había 5 millones de piezas de Lego que sirvieron por años como generador de recuerdos en las playas del mundo.

(3) Los contaminantes y la vida. Los mares son un sumidero para todo lo que escurre desde los continentes y actúa como una planta de reciclaje o depósito. Los problemas no se distribuyen de manera uniforme y la contaminación tiende a concentrarse cerca de su origen. Así, en adyacencias de Europa, la contaminación es mayor al centro del Atlántico Norte, que a su vez es mayor al Pacífico Norte y este al Pacífico Sur. Sin embargo, la circulación de vientos y corrientes oceánicas distribuye los contaminantes al Atlántico Sur y la Antártida. Por esto se encontró DDT en la grasa de los pingüinos antárticos, muy lejos de la zona de aplicación. Otro caso son los metales pesados (mercurio, plomo, cadmio y arsénico) penetran en la cadena alimenticia marina y llegan al consumo humano. Así, la enfermedad de Minamata, provocó en Japón miles de muertes y enfermos con lesiones cerebrales desde



1323. Plástico en los océanos. Las mediciones de las concentraciones de plástico en los océanos permite el agrupamiento en 4 tamaños diferentes de partículas (arriba-izquierda). Un caso mediático fue la pérdida de patitos de plástico amarillos que cayeron al mar en 1992 y recorrieron el planeta impulsados por las corrientes marinas (derecha). La vida sufre y aprovecha el plástico (abajo). Una vieja red sirve de refugio para peces (izquierda), pero los restos más pequeños son comidos por las aves y mamíferos. Por ejemplo, el ave marina de la fotografía (derecha) es una cría y el plástico fue el alimento que le dieron los padres. Se estimó que el 90% de las aves marinas consumieron plásticos. Esta es una de las causas que justifican la reducción del 70% de abundancia de aves marinas en solo 60 años (datos basados en 513 poblaciones bien documentadas y que representan el 19% de la población mundial). Otras causas son la pesca ya que reducen la provisión de alimento y las matan en las redes; la contaminación del transporte marítimo y la bioacumulación de tóxicos en la cadena trófica; las especies invasoras que cazan en las áreas de reproducción y la baja capacidad reproductiva (en algunos casos ponen un huevo cada varios años). El 47% de las aves marinas están en declive y 28% amenazadas de extinción. Las aves de altamar (albatros, petreles, fragatas y pardelas) se redujeron en el 80%, siendo las más afectadas.

los años '50. Se debe al consumo de pescados y mariscos contaminados con mercurio. El problema se debió a la industria petroquímica, pero para la enfermedad itai-itai, conocida desde 1912 en Japón, se debe a la intoxicación con cadmio de la industria minera.

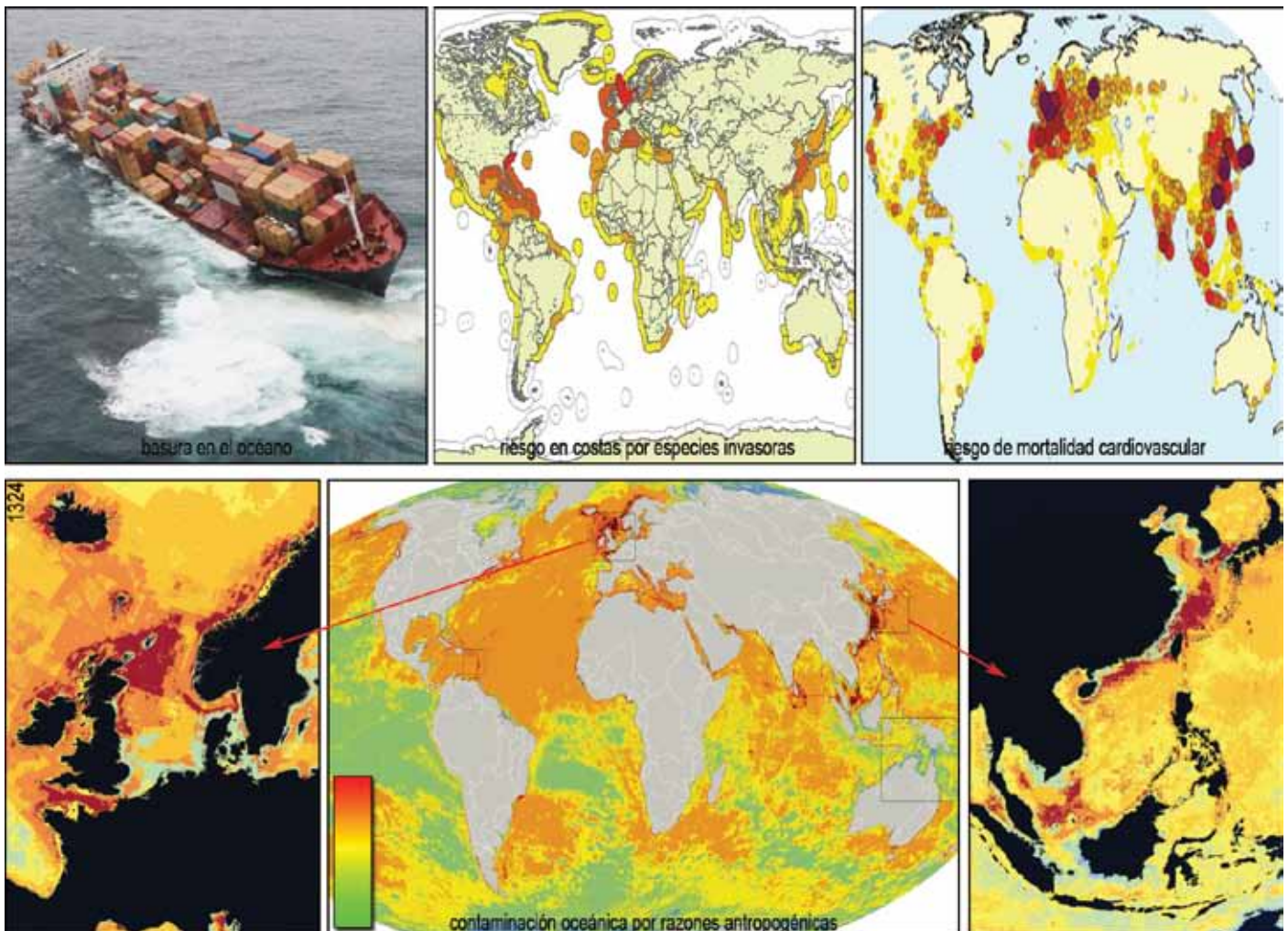
Los plásticos absorben químicos persistentes a largo plazo (insecticidas, pesticidas, solventes y lubricantes) aumentando la toxicidad. Las toxinas llegan a las medusas que consumen los plásticos. Algunos peces también comen plástico contaminado, quizás porque están recubiertas de bacterias o porque no son selectivos a la hora de tragar. Estos productos afectan el hígado de los peces y seguirán la cadena alimentaria hasta los humanos. Muchos desechos de larga duración terminan en los estómagos de las tortugas marinas, albatros y otras aves. La cadena trófica produce el efecto de biomagnificación en la concentración de toxinas, de forma que se recomienda no comer grandes peces predadores (atún).

El plástico marino también facilita la propagación de especies invasivas que se adhieren a las piezas flotantes, llegando a grandes distancias y colonizando nuevos ecosistemas. Se contabilizó que afectan por lo menos a 267 especies. Se encuentran redes de pesca que restringen el movimiento, causando hambre, laceraciones y asfixia en animales que respiran en la superficie. Incluso en las islas Georgias

del Sur, se encontraron desechos (80% de plásticos) que son responsables de enredar a un gran número de lobos marinos. En el 2013 al menos 2 ballenas resultaron muertas en las playas de Europa (Holanda y España) debido a la ingesta de decenas de kilogramos del plástico que recubre a los invernaderos. En la isla de Midway (Pacífico Central) casi todos los albatros encontrados muertos tenían el estómago lleno de plásticos. Una tortuga marina en Hawái había muerto con cerca de 1.000 piezas de plástico en los intestinos.

Se encontró que en torno a este plástico se forma un ecosistema microscópico. Se hallaron cerca de 1.000 tipos de bacterias y hongos que pueden usar el plástico para producir energía y multiplicarse (en realidad, dividirse). Esto indica que quizás los plásticos se degraden más rápido que en forma natural. Pero también se encontraron bacterias del género *Vibrio*, el mismo del cólera. Los peces y aves marinas pueden resultar vectores para la propagación del cólera hacia los humanos. Los plásticos muestran alta concentración de nitrógeno de origen biológico, lo que sustenta la hipótesis que es usado por microorganismos para obtener energía o como sustrato. Es probable que esto aumente la densidad de las piezas y terminen por sumergirlas al fondo del océano.

(4) El transporte marítimo. El transporte marítimo afecta de



1324. Riesgos del transporte marítimo. Uno de los riesgos en los océanos es la pérdida de contenedores en alta mar debido a las tormentas (arriba-izquierda). Otro problema del transporte marítimo es que trasladan en forma involuntaria especies de un continente a otro, siendo una causa muy importante de la introducción de especies invasoras (centro). El consumo de combustible de bajo grado libera contaminantes de azufre que producen problemas cardiovasculares (derecha). Las áreas más contaminadas por el transporte marítimo están en el hemisferio norte (abajo).

diferentes formas: vertidos de petróleo, contaminantes derivados del combustible de bajo grado, pérdida de contenedores y transporte de especies invasoras entre continentes. Los vertidos de petróleo (accidentales o no) provocan importantes daños ecológicos. En 1985 se vertieron al mar 3,2 Mt (millones de toneladas) de hidrocarburos (industria y navegación incluidas), lo que llevó a diversas acciones para contener el avance. Por ejemplo, los barcos petroleros bombeaban agua para lavar los tanques y luego la arrojaban al mar, antes de volver a cargar el crudo. Esto vertía más de 1 Mt/año de crudo. En la actualidad el lavado se hace con petróleo crudo a alta presión procedente de la carga del propio barco.

Un gran barco de contenedores (hay 90.000 en actividad) emite contaminantes como 50 millones de automóviles. Utilizan un combustible de bajo grado que contiene hasta 2.000 veces la cantidad de azufre que el usado en automóviles. El barco de contenedores más grande del mundo está en manos de la línea naviera danesa Maersk. Son 8 barcos de 398 m de largo y pueden llevar 15.200 contenedores a 47,2 km/h las 24 horas del día. Lo que limita el tamaño es el estándar Suezmax (transito del Canal de Suez a plena carga); estos barcos superan el estándar Panamax (Canal de Panamá). Los motores consumen 16 toneladas por hora de combustible. Las emisiones en alta mar no están bien reguladas en el sistema de transporte global. El combustible es el aceite de desecho del proceso de refinación de petróleo crudo. Es similar al asfalto y tan denso que cuando está frío se puede caminar sobre él. Es el combustible más barato y más contaminante. Los 90.000 buques de contenedores emiten 260 veces más óxidos de azufre (SO_x) que los 760 millones de automóviles. Se calculó en cerca de 60.000 las muertes prematuras al año en todo el mundo como resultado de las emisiones de partículas de los motores de barcos oceánicos.

Una alternativa para reducir esta contaminación es mejorar el

combustible. La IMO (*International Maritime Organization*) en 2007 pensaba lograr una reducción del 10% en el consumo de combustibles en los barcos existentes y 30-40% en los buques nuevos, pero la tecnología no se aplica ya que las regulaciones son en gran parte voluntaria. La IMO promulgó nuevas normas obligatorias para reducir esta contaminación y espera para el 2020 reducir el azufre en los combustibles en un 90%, aunque este nuevo combustible destilado puede llegar al doble del precio de los combustibles actuales de bajo grado. En Noruega diseñaron un carguero donde la estructura del casco aprovecha la fuerza del viento para propulsión. Otra alternativa es la propulsión nuclear. Ha estado en uso militar desde 1955 y hay 150 naves entre submarinos y portaaviones. Un supercarguero militar clase Nimitz tiene más del doble de potencia (208 MW) que el mayor buque de contenedores y es capaz de funcionar de forma continua durante 20 años sin necesidad de repostar. Algunos submarinos de la clase Rubis franceses pueden viajar 30 años sin reabastecer combustible. La *US Navy* lleva cerca de 6.000 años "reactor" de experiencia libre de accidentes que podrían aplicarse al transporte comercial.

Para el transporte aéreo los problemas son otros. A nivel global los aviones comerciales liberan 700 MtCO₂ al año (casi como toda Alemania). Las emisiones se multiplicaron por 4 desde 1960, y se proyecta multiplicar por 3 hacia 2050. La aviación es una industria global, con fabricantes globales y por lo tanto las regulaciones también deberían serlo. La eficiencia de los aviones aumentó un 70% desde la década de 1960 y se estima que se podría lograr una mejora del 40% en la eficiencia de combustible en 2020 y llegar al 80% en 2030. Las tecnologías son convencionales: materiales avanzados con menor peso; revestimientos de pintura de baja fricción; y riblets (pequeñas protuberancias superficiales) para reducir la fricción del flujo de aire. Pero la implementación de mejoras va lento porque con la reducción del precio del combustible se redujeron los incentivos para la innovación.

La atmósfera: capa de ozono y lluvia ácida

La capa de ozono. En la estratósfera terrestre (10-50 km de altitud) la temperatura aumenta con la altura desde -55 y 0 °C y la humedad es casi inexistente. La concentración de ozono está entre 2 y 8 ppm (partes por millón) y el máximo se encuentra a 30-35 km. Todo el ozono disponible en la atmósfera es de 3 Gt (solo 0,6 ppm) y si fuera comprimido a la presión del aire al nivel del mar, ocuparía una capa de 3 mm de espesor. La estratósfera reúne el 90% del ozono de la atmósfera, el cual absorbe el 97-99% de la radiación ultravioleta UV que proviene del sol. Cuando los rayos UV (200-300 nm) impactan en una molécula de ozono (O₃) la divide en oxígenos muy reactivos que casi de inmediato se recombinan formando otra vez ozono y liberando energía en forma de calor (infrarrojos). Este proceso convierte radiación UV en IR.

La capa de ozono fue descubierta en 1913 y entre 1928 y 1958 se estableció una red mundial de estaciones de monitoreo. La unidad de medida es el Dobson (científico que diseñó el medidor de ozono) y 100 Dobson equivale a 1 mm de ozono a presión de 1 atmósfera (2,69x10¹⁶ moléculas/cm²). Si esta capa se degrada (se reduce el valor de Dobson) la radiación UV llega con más densidad a la superficie del planeta e impacta sobre la vida. Aunque el ozono funciona como un escudo

protector, deja pasar rayos UV de onda larga, que son aprovechados para la fotosíntesis. El seguimiento histórico de la capa de ozono alertó sobre el riesgo que se corría en el polo sur (reducción de 200-250 Dobson a 50-100 Dobson).

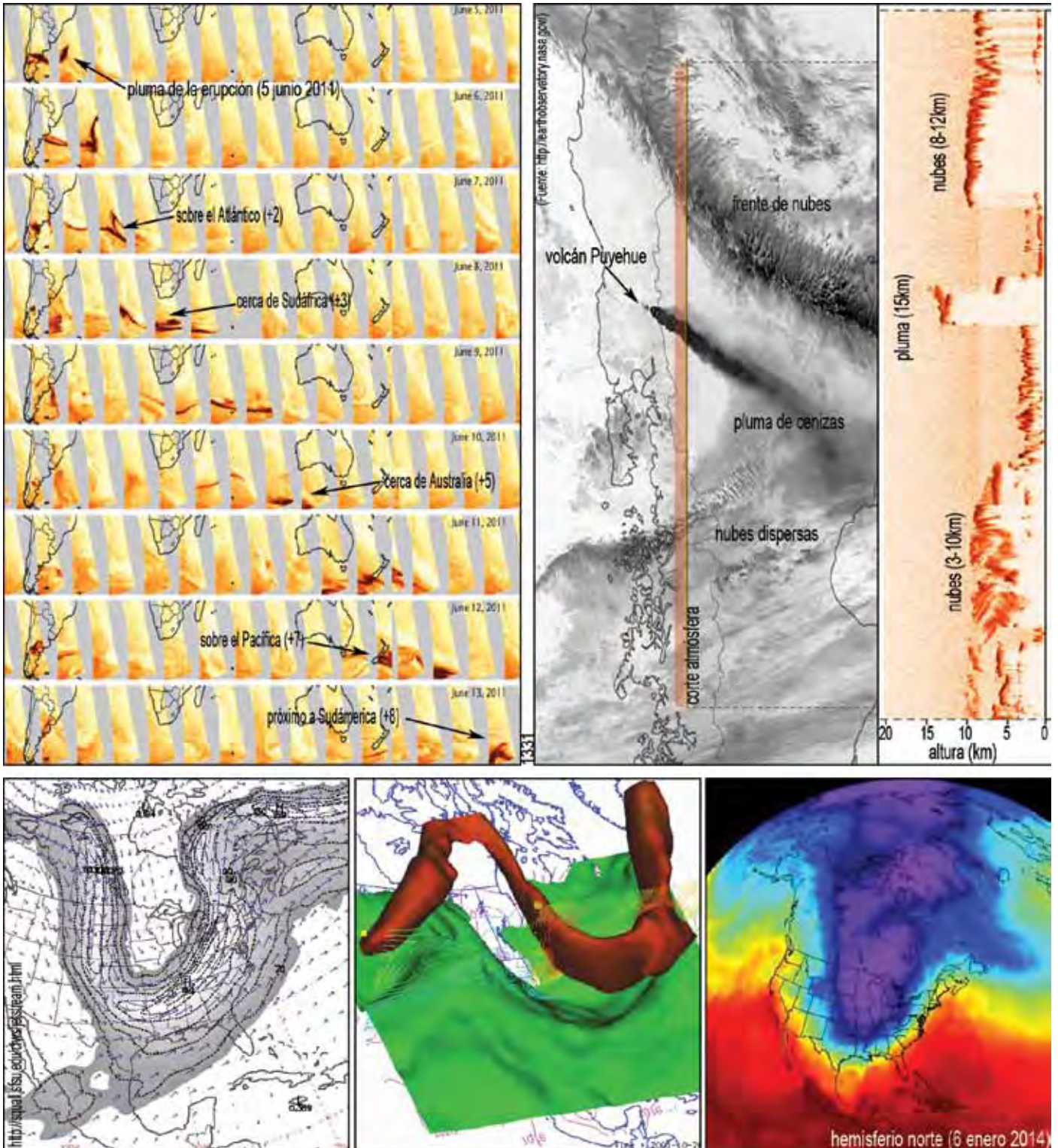
La reducción de ozono. Hay varios productos químicos que conspiran contra la estabilidad de la capa de ozono. El más importante es la familia de los CFC (clorofluorocarbonos CFC_{1,2}) que se utilizan en refrigeración, solventes y envases desechables. Además está el bromuro de metilo (usado en fumigantes) y el tetracloruro de carbono (en pesticidas y limpieza a seco). Las moléculas de CFC son insolubles en agua y no son reactivas. Así que siguen un lento viaje (10-20 años) hasta la tropósfera donde interactúan con la luz UV, liberando cloro. Este cloro degrada el ozono a una velocidad más rápida que en condiciones naturales. La formación y destrucción del ozono por procesos naturales se encuentra en equilibrio dinámico, pero el CFC acentúa las reacciones lo que reduce la proporción de ozono.

La pérdida de ozono puede provocar casos de melanomas (cáncer) de piel; cataratas oculares; supresión del sistema inmunitario (lo que

un planeta

facilita el ataque de virus y bacterias); puede afectar a los cultivos sensibles a la radiación UV; disminuir la calidad de los tomates y papas; puede atacar larvas de peces en el agua y afectar la vida marina hasta 20 m de profundidad. Por más de 50 años hasta el 2000, el CFC de la

alta atmósfera aumentó en forma constante. La ONU firmó el Protocolo de Montreal para reducir la emisión de gases que afectan a la capa de ozono. En 1987 se dispuso reducir al 50% la producción de CFC en un período de 10 años y más tarde fueron reemplazados. En la Argentina



1331. "un evento local, es un evento global". El volcán Puyehue, a pocos kilómetros de Villa La Angostura (Neuquén), hizo erupción en el 2011 (arriba-izquierda). La pluma de cenizas volcánicas cruzó la Patagonia afectando el tráfico aéreo por varios meses. En forma secuencial la pluma se movía a 15 km de altura (derecha) y rodeó el planeta en menos de 2 semanas siguiendo las corrientes de viento circumpolares. Las corrientes jet stream circundan los polos de oeste-a-este en ambos hemisferios y separan las zonas de alta y baja temperatura. El hueco de ozono afecta a la corona de vientos antárticos y junto con el calentamiento global produce mayores "meandros" de viento. Esto hace más lento el pasaje de los frentes climáticos. En el hemisferio norte, el 6-enero-2014 (abajo) se observó el pasaje de un meandro de viento a gran altura. Dentro del sistema la temperatura se redujo a valores muy bajos provocando una ola de frío polar (en azul). Los vientos de altura interconectan todo el planeta de forma que un evento en un lugar se esparce por todo el planeta.

el consumo de CFC se redujo de 6.371 toneladas en 1995 a 28 en el 2011. Hoy día, la concentración de CFC se reduce a un ritmo lento del 1% anual a nivel global.

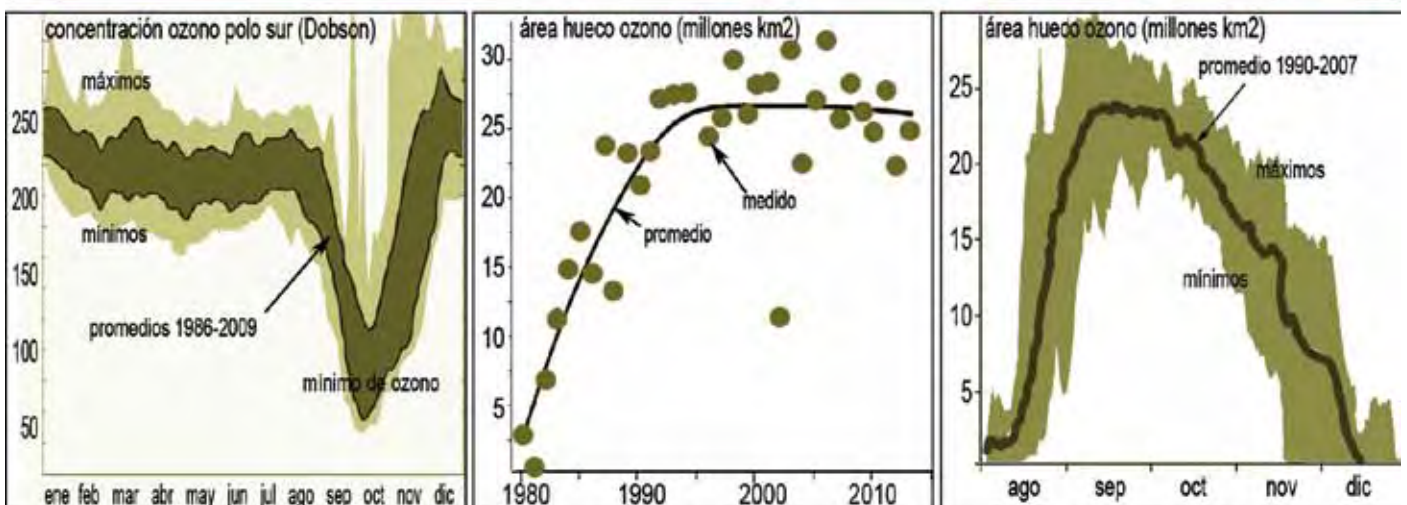
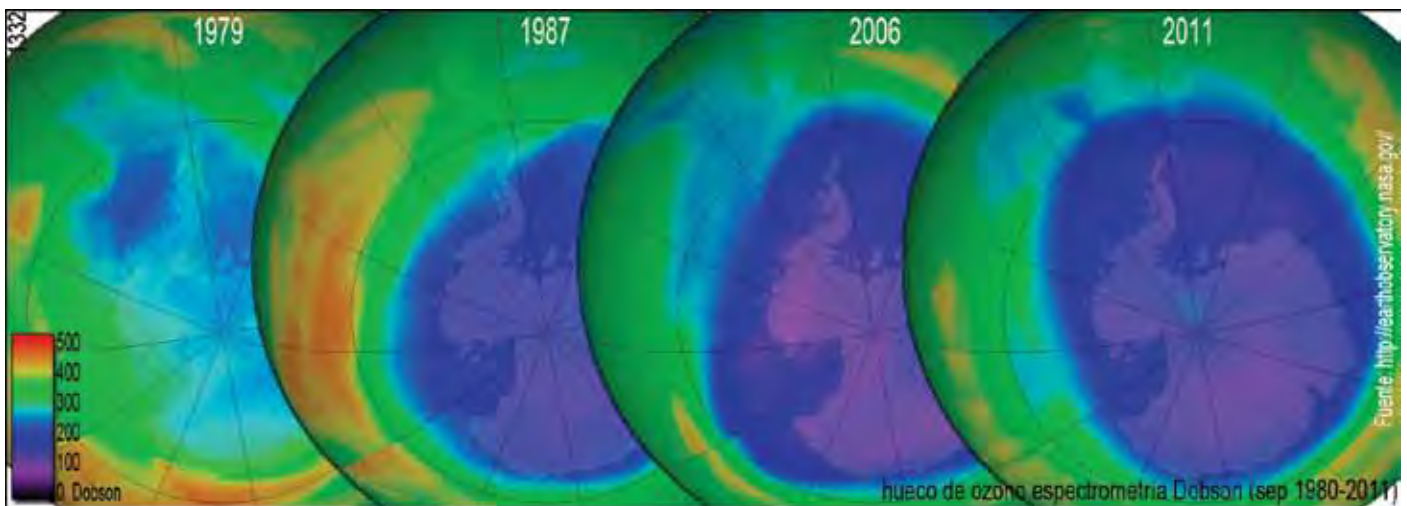
Corona de vientos polares. Existe una fluctuación natural en la concentración de ozono que es anual y depende de la temperatura. El valor de Dobson llega a un mínimo durante la primavera (septiembre-octubre) en el hemisferio sur. La reducción del ozono en la Antártida se encuentra concentrada dentro del cinturón de vientos que ocurre en las capas medias de la atmósfera (10-15 km de altura). Se lo denomina "vórtice polar" y la velocidad depende de la diferencia de temperatura entre el interior y exterior. Este cinturón de vientos aísla el interior (la Antártida) de forma que mantiene menores temperaturas y facilita las reacciones químicas que descomponen el ozono. El efecto de aislamiento hace que el hielo austral se mantenga casi estable y que contraste con el océano Ártico. Fuera del vórtice, la densidad de lluvias en la Patagonia disminuyó.

El vórtice polar del hemisferio norte es mucho más inestable debido a la mezcla producida por acción de la masa continental. Esto reduce el aislamiento y genera "meandros" desde el vórtice principal. Los meandros más grandes aumentan la velocidad del viento, pero el efecto completo se mueve más lento. Así, los períodos de frío o calor

son más extensos. El hueco de la capa de ozono en el norte ocurre en marzo y se reduce en el 25% promedio, mientras que en el sur es del 55% en septiembre.

Si bien el hueco de ozono se estabilizó en los últimos años y hay expectativas que podría cerrarse a mediados de siglo, algunas evidencias ponen en duda este optimismo. Se pensaba que el cambio climático y el hueco de ozono eran independientes. Pero, en 2012 se encontró que las fuertes tormentas de verano en Estados Unidos elevan la humedad hasta la estratósfera y, luego de una cadena de reacciones químicas, ataca a las moléculas de ozono. En la Antártida, una recuperación de la capa de ozono podría estar seguida de un incremento de temperatura y una disminución de los glaciares, sumado a otros efectos ambientales.

El caso: "Patagonia". La reducción de ozono es responsable del corrimiento hacia el sur de los vientos en la Patagonia. La mayor radiación solar incrementó y cambió el círculo de vientos antárticos. Esto redujo las lluvias en los bosques e impactó en el crecimiento de los árboles que alcanzó el mínimo de los últimos 600 años. Para un ciclo normal, los bosques andino-patagónicos (con mayoría de ciprés, araucaria, alerce y coihue) necesitan recibir abundantes precipitaciones. La reducción de lluvias producirá aumento de focos de incendios;



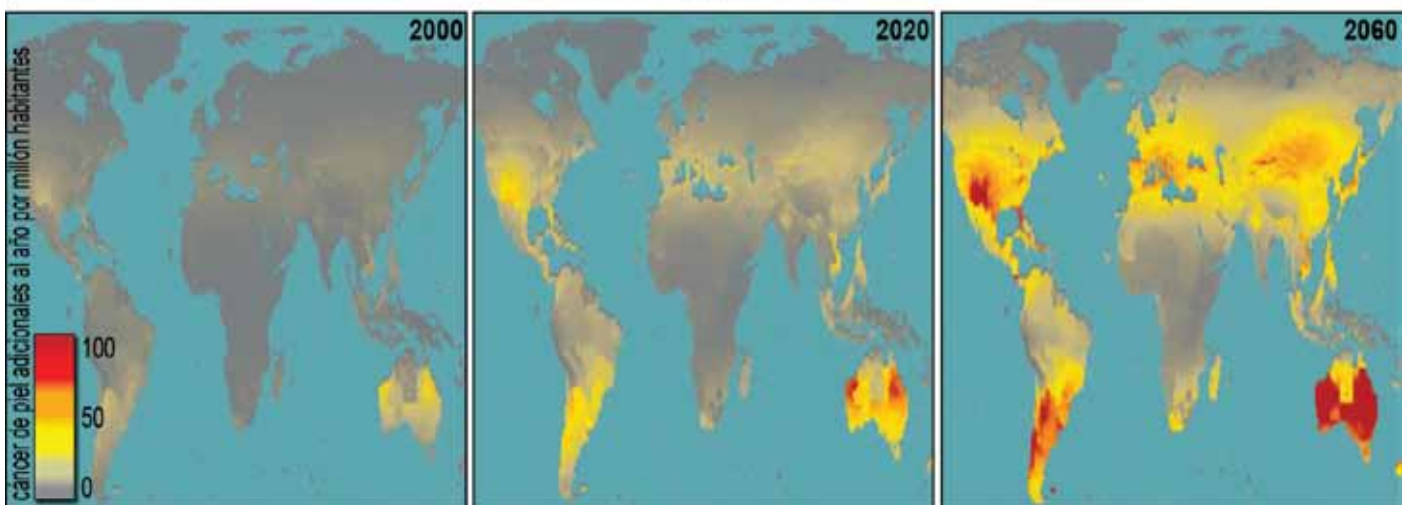
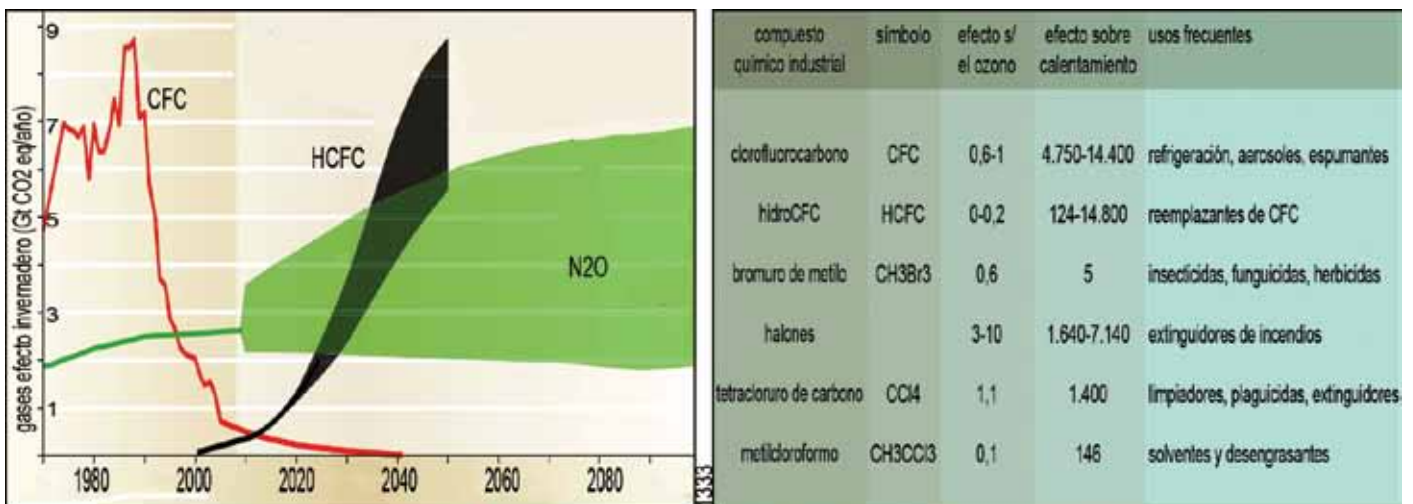
1332. Evolución del hueco de ozono. Luego del crecimiento del hueco de ozono a fines del siglo pasado, se estabilizó (arriba). Las medidas de reemplazo de los químicos contaminantes permiten augurar que quizás se recupere el estado original hacia mediados de este siglo (aunque en el 2015 se produjo un nuevo máximo). En las curvas se entregan valores extremos y promedios en unidad Dobson durante el año. El mínimo ocurre en primavera durante septiembre-octubre (abajo-izquierda). La superficie del hueco de ozono, en millones de km², es para un umbral de 220 Dobson (centro y derecha).

eventos de mortalidad; falta de regeneración de nuevos brotes y una menor capacidad de recuperación frente al pastoreo intensivo. Las lluvias se desplazaron hacia el extremo de la Patagonia (al sur de Tierra del Fuego), pero llegan abundantes a Nueva Zelanda y Tasmania (sur de Australia). Allí se produjo un aumento de temperatura y favoreció el crecimiento de las especies. Para llegar a esta conclusión se estudiaron los anillos de crecimiento de más de 3.000 ejemplares de seis especies de la Argentina, Chile, Nueva Zelanda y Tasmania. Se verificó que los patrones de crecimiento entre 1950 y 2000 están en un mínimo en el bosque patagónico. La Patagonia está en serios riesgos por varias causas: sequía por reducción de lluvias, disminución del caudal de los ríos, sobrepastoreo y desertificación y erupciones volcánicas esporádicas con el aporte de cenizas.

Contaminación por ozono. Un problema adicional, es el 10% del ozono que está en la tropósfera (junto a la superficie). Resulta peligroso para los seres vivos por su fuerte carácter oxidante. Este ozono es creado por las tormentas eléctricas que ionizan el aire y lo hacen buen conductor de la electricidad. Pero un aporte adicional proviene de la industrial y el transporte. Es el "smog fotoquímico". Se trata de una capa de contaminación ambiental que se evidencia como una zona oscura sobre las ciudades con mucho tráfico, en días cálidos y soleados y con poco movimiento de aire (Santiago de Chile en verano).

La concentración de ozono se asocia con casos de muerte por enfermedades respiratorias. Debido a la exposición crónica, las ciudades muy contaminadas tienen un 25-30% de casos superior a las ciudades limpias. Las estadísticas indican que por cada 10 ppb de ozono la incidencia aumenta en 4%. En Estados Unidos, con 240.000 muertes al año, la regulación de concentración permitida de ozono era de 75 ppb (partes por billón) en el año 2010. Para una mejora a 70 ppb se estimó una inversión de 3.900 Mus\$/año y para llegar a 65 ppb se requieren 15.000 Mus\$/año. Mucho de este dinero debería ser invertido en mejorar las centrales térmicas. Quienes exigen la reducción dicen que por cada dólar invertido se recuperan 3 dólares en salud pública (asma, días perdidos, muertes prematuras).

Deposición ácida. La capa vegetal en descomposición y los volcanes en erupción (como el caso del volcán Puyehue en Patagonia), liberan químicos a la atmósfera que pueden originar lo que se llama "lluvia ácida". Las cenizas volcánicas son un peligro para los motores de los aviones, ya que se funden formando una capa de vidrio que causa daños o la rotura del motor. Pero la mayor parte de la lluvia ácida es producto de la actividad humana y corresponde a la quema de combustibles fósiles (centrales eléctricas a carbón, fábricas y transporte). Cuando se quema combustible fósil se liberan al aire varios gases, entre ellos óxidos de nitrógeno (NO_x) y el dióxido



1333. Las causas y consecuencias. Existen varias causas de la pérdida de ozono, entre ellas las naturales. Se muestran los gases que degradan el ozono (arriba-derecha) y la variación en la concentración (izquierda). El CFC fue prohibido por afectar en forma grave, aunque el reemplazo HFC (hidrofluorocarbono), que no contiene cloro, no es neutro y aumenta a un ritmo de 10-15% anual. El impacto de la pérdida de la capa de ozono se puede observar como incremento en la cantidad de casos de cáncer de piel por exposición a los rayos UV. Se muestra la proyección esperada a nivel global (abajo).

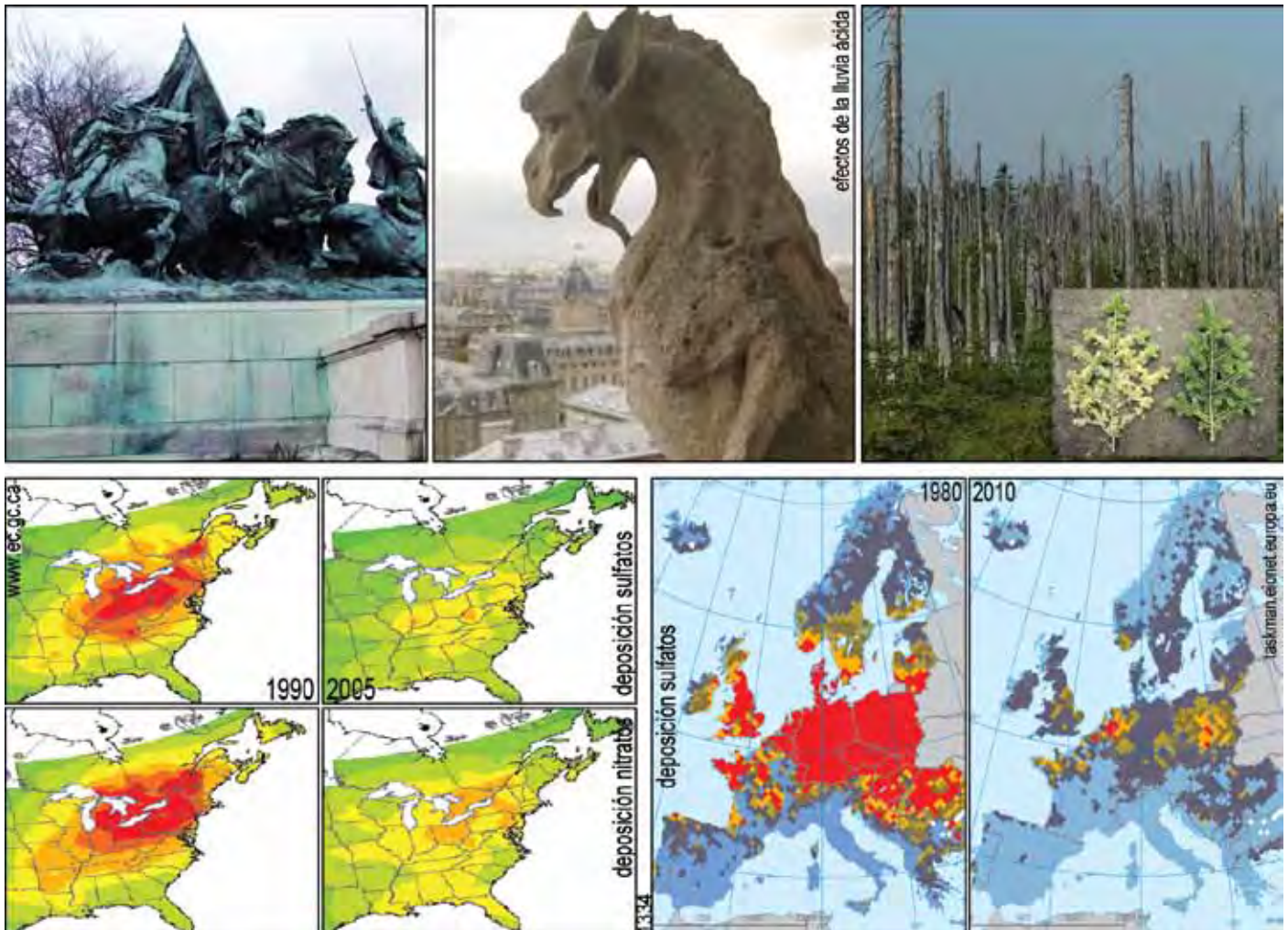
de azufre (SO_2). Estos compuestos pueden recorrer grandes distancias debido a los vientos de altura, incluso dar vuelta a la Tierra, como lo prueban las fotos satelitales de la erupción del Puyehue. En contacto con la humedad atmosférica estos gases se transforman: el NO_2 resulta en ácido nítrico (HNO_3) y el SO_2 en ácido sulfúrico (H_2SO_4). Luego se acumulan en las nubes y pueden caer como partículas o precipitarse junto con la lluvia, nieve o neblina. En este caso se llama "lluvia ácida" o mejor "deposición ácida", ya que puede ser sin lluvia, como gases o sólidos.

Para determinar la acidez de un líquido se utiliza la escala logarítmica pH que varía de 0 a 14. Indica la concentración de iones hidrónio (H_3O^+), en una escala logarítmica donde $\text{pH}=7$ indica un hidrónio cada 10^7 (una parte cada 10 millones o 0,1 ppm). El $\text{pH}=0$ corresponde al ácido de baterías (es el extremo ácido); $\text{pH}=2$ el ácido gástrico; $\text{pH}=7$ es el agua pura (pH neutro); $\text{pH}=8$ el agua de mar y $\text{pH}=14$ el limpiador de desagües (es el extremo alcalino). Los productos de limpieza que son "pH neutro" tienen $\text{pH}=5,5$ (pH de la piel humana). La lluvia es ligeramente ácida ($\text{pH}=5,6$) ya que se mezcla con óxidos de forma natural en el aire. Pero la lluvia ácida puede llegar a $\text{pH}=3$. En la actualidad la

lluvia es en promedio 100 veces más ácida que hace 200 años (son 2 unidades de pH debido a la escala logarítmica).

Impacto ambiental. La lluvia ácida aumenta la acidez del agua en ríos y lagos y produce trastornos importantes en la vida acuática. Algunas plantas y animales logran adaptarse, pero otros lo sufren y en definitiva afecta a toda la cadena trófica. Camarones, caracoles y mejillones son las especies más comprometidas por la acidificación del agua. También tiene efectos negativos en peces (salmón y trucha). Las huevas y los alevines son los más afectados ya que interfiere en la eclosión de los huevos y causa deformaciones en los peces jóvenes.

La lluvia ácida aumenta la acidez del suelo produciendo la lixiviación de nutrientes (por ejemplo, el lavado del calcio que escurre desde el suelo). También, puede infiltrar metales pesados tóxicos (cadmio, níquel, manganeso, plomo, mercurio) que se introducen en las corrientes de agua. Los ácidos dañan las agujas de las coníferas y las hojas de los árboles. La lluvia ácida y otros agentes agresivos reducen la resistencia de los árboles y plantas a las bajas temperaturas, a la acción de insectos y a las enfermedades. Los contaminantes



1334. La deposición ácida. La lluvia ácida es el resultado de las emisiones industriales debidas al consumo de combustibles fósiles. Afecta a los metales (arriba-izquierda), a las piedras de los monumentos en caliza (centro) y a las plantas (derecha). Los programas de Estados Unidos y Europa para reducir las emisiones de sulfatos y nitratos permitieron reducir los niveles de contaminación (abajo). En Estados Unidos se aplicó en la década de los '90 un mercado de derechos para emitir dióxido de azufre (un importante contribuyente a la lluvia ácida) para las empresas eléctricas. Los impuestos a las emisiones funcionaron en este caso. Sin embargo, poco se aplica para el CO_2 . Solo algunos países europeos tienen altos impuestos a las emisiones de CO_2 , donde Dinamarca es el más alto con 92 us\$/t CO_2 . Fuera de Europa, Japón tiene 42 us\$/t CO_2 , pero Canadá es solo 9 y Estados Unidos 5. Rusia, Brasil y la Argentina son cercanos a cero. El valor promedio para el 84% de las emisiones es de 16,6 us\$/t CO_2 (son 20 dólares menos que los costos sociales estimados por tonelada de carbono).

también pueden inhibir la capacidad de los árboles a reproducirse. Las construcciones históricas realizadas en piedra caliza (carbonato de calcio, CaCO_3) al tomar contacto con la lluvia ácida, reaccionan y se transforma en yeso. El yeso se disuelve en agua con mucha facilidad. También los metales se corroen a mayor velocidad por la acción corrosiva de los ácidos.

Un caso extremo ocurrió hace 65 Ma cuando un meteorito chocó contra la Tierra. Llevó a la atmósfera una cantidad suficiente de azufre

como para producir aerosoles de ácido sulfúrico que acidificó las capas superiores de los océanos y mató a casi toda la vida. Hoy día lo que se observa es la acidificación de los océanos por incremento del CO_2 . Las medidas de conservación son varias y simultáneas. Actuar sobre el consumo de combustibles fósiles para contenerlo al máximo. Reducir el nivel de azufre en los combustibles; impulsar el uso de gas natural menos contaminante e introducir el convertidor catalítico de tres vías. También puede ayudar la reducción de sustancias químicas en los cultivos.

La vida bajo presión

La hipótesis de Gaia. Esta teoría (James Lovelock-1979) surge del proyecto de la NASA para descubrir vida en Marte. Llamó la atención las diferencias de la Tierra con los planetas más próximos y se postuló que la vida era la responsable de esta atmósfera. La hipótesis es un conjunto de modelos científicos de la biosfera en el cual se postula que la vida fomenta y mantiene las condiciones adecuadas para sí misma. La atmósfera y la parte superficial del planeta se comportan como un todo coherente, donde la vida se encarga de autorregular las condiciones esenciales (temperatura, composición química, salinidad en los océanos, etc). Es un sistema auto-regulado que tiende al equilibrio (homeostasis).

En paralelo se formuló la paradoja del "sol débil temprano" (Carl Sagan-1972), que muestra un sol 25-30% más débil al inicio de la vida y sin embargo, la atmósfera no estaba congelada. La respuesta es la proporción alta de CO_2 con un efecto invernadero muy elevado. Sin la vida, la Tierra debería hallarse en equilibrio químico y con una atmósfera de CO_2 al 99% (como Marte y Venus) y casi sin vestigios de oxígeno y nitrógeno, los que habrían reaccionado en su totalidad. Como las cosas son a la inversa, cabe la posibilidad que la Tierra tuviera inicialmente las condiciones apropiadas para que la vida desde el primer momento. Gaia propone lo opuesto: dadas las condiciones iniciales, la propia vida las modificó llegando a lo que es hoy día. Los microorganismos pueden mantener las condiciones químicas ya que son capaces de regular la concentración de los gases (nitrógeno, azufre y carbono). Tener en cuenta los siguientes hechos: la temperatura global permaneció dentro de parámetros aceptables para la vida a pesar del incremento en la energía solar; la composición atmosférica permanece casi constante; así como la salinidad de los océanos. Como es de esperar se trata de un equilibrio que fluctúa entre márgenes compatibles con la vida.

Una de las principales predicciones es que debería existir un compuesto de azufre, fabricado por los organismos marinos, que sería capaz de resistir los procesos de oxidación. Este compuesto podría migrar del agua hacia el aire y luego llegar a tierra firme. Sería un nexo de unión entre los organismos y ecosistemas del planeta. El mejor candidato parece ser el dimetilsulfuro DMS. Es crucial para confirmar la hipótesis de Gaia, disponer de un método para rastrear y medir los movimientos del azufre en tierra, mar y aire. El azufre es el décimo elemento más abundante del universo y forma parte de numerosos compuestos, tanto orgánicos como inorgánicos.

La sexta extinción en masa. Una visión simple de la hipótesis de Gaia, pero falsa y que lleva a confusión, es decir que: "la Tierra

es un organismo vivo". Aunque falsa, esta idea puede ser útil para observar cómo un todo a los ecosistemas del planeta. Un ecosistema se encuentra en equilibrio inestable, con cambios lentos y acompañados por un reajuste. Si esto ocurre violentamente el sistema se desequilibra, produciendo las "extinciones en masa" (nunca ocurrió la pérdida total de la vida). Una de las consecuencias de la extinción es la pérdida de las "enciclopedias genéticas" que tardaron millones de años en evolucionar. Además, está la pérdida y deterioro de ecosistemas, debido a la desaparición de eslabones en la cadena trófica (de un eslabón a otro solo pasa el 10% de la energía requerida para alimentarlo).

En 1993, el biólogo Harvard Wilson, estimó que la Tierra estaba perdiendo unas 30.000 especies al año por causas humanas, con amplia mayoría de especies invertebradas que se extinguen antes de catalogarse. En el 2002 se estimó que para el año 2100 se habrán extinguido el 50% de todas las especies y el 75% en el 2100. Por orden de impacto las causas son: destrucción de los hábitats (agricultura y deforestación); especies invasoras; contaminación; superpoblación humana y sobreexplotación de los recursos naturales (caza, pesca y minería). Una causa importante parece ser la desestabilización de la cadena trófica. En modelos matemáticos de simulación se encontró que podría darse el caso que la conservación de una especie en peligro ponga en riesgo a otras. Esto significa que la supresión de una especie en declive puede ser mejor que los esfuerzos de conservación. El trabajo de conservación debe actuar sobre todo el ecosistema.

En la historia de la Tierra se definen 5 grandes extinciones: hace 440 Ma (millones de años); 370 Ma, 245 Ma, 210 Ma y 65 Ma. Ocurrieron muchas otras, pero de menor magnitud y no fueron globales. Respectivamente, se perdieron el 25%, 19%, 54%, 23% y 17% de las familias (grupos de géneros-especies) existentes. Como se ve, la tercera (Pérmico, 245 Ma) fue la más importante y la última (Cretácico, 65 Ma) la más famosa, ya que incluye la extinción de casi todos los dinosaurios (excepto las aves). Las causas de los cambios climáticos tienen varios sospechosos y casi siempre varios actuando en conjunto: el golpe de un cometa; explosiones de supernovas; cambio en la configuración de continentes por la deriva continental; eventos volcánicos masivos; cambios en el campo magnético terrestre; entre otros de menor alcance.

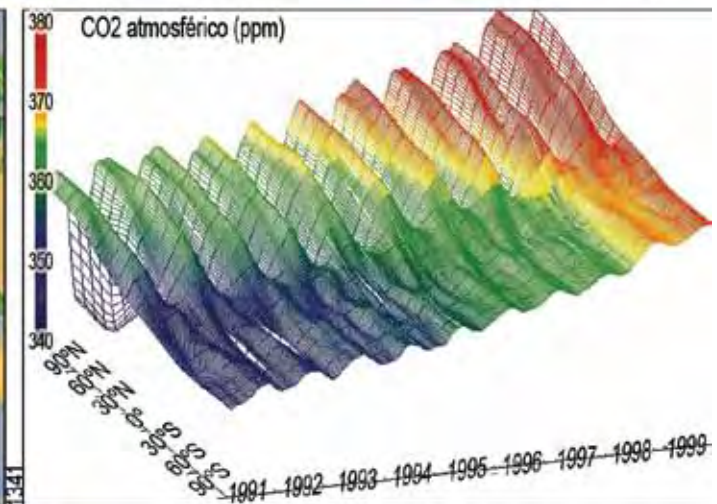
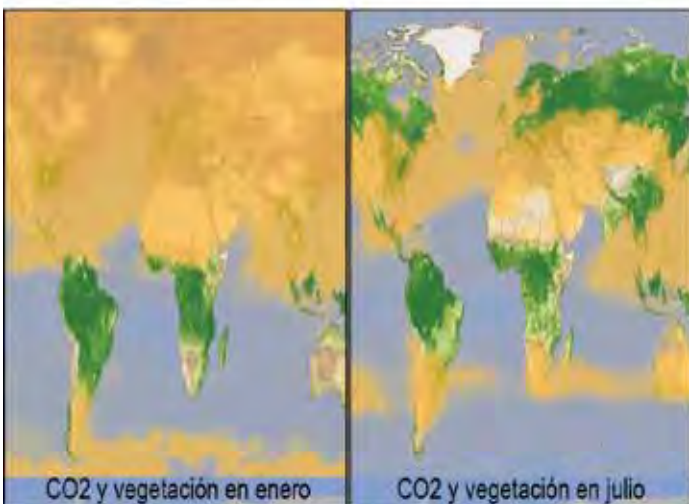
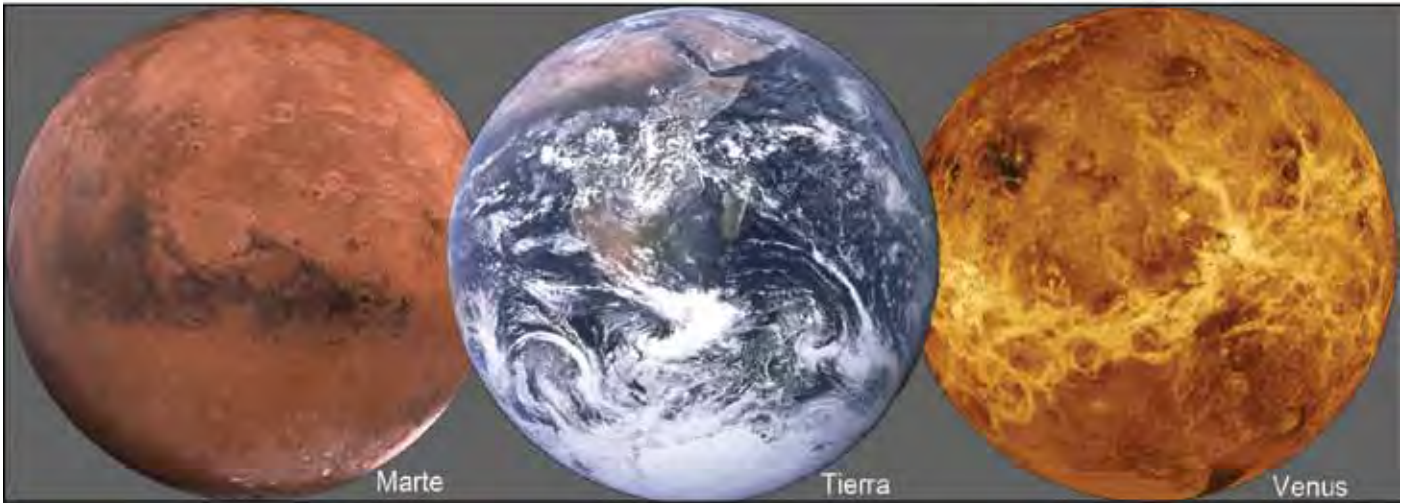
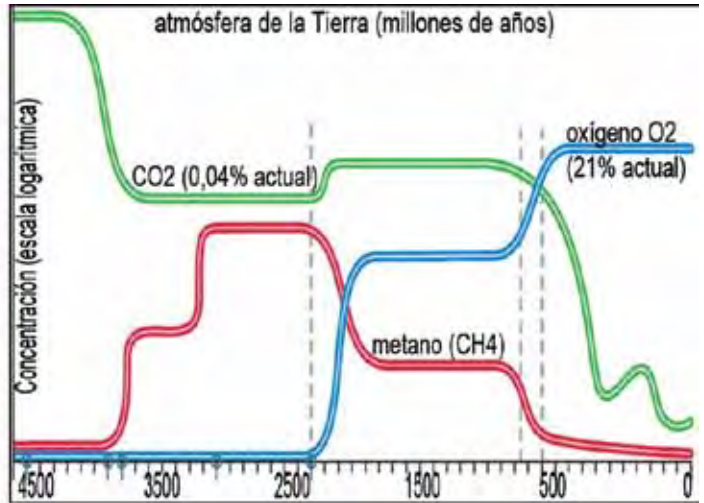
Desde un punto de vista estadístico, las especies se extinguieron en su totalidad. Hoy vive una fracción casi insignificante de todas las especies generadas por la evolución natural. ¿Cuántas especies

un planeta

existen hoy día? La respuesta es difícil e imprecisa. Un estudio que extrapola desde datos conocidos, entregó 8,7 millones de especies eucariotas (compuestas de células con núcleo), con error de 1,3 millones.

Donde solo 1,2 millones fueron catalogados en 250 años de historia de la clasificación taxonómica. Falta aún el 86% de especies terrestres y 91% de las marinas.

Gas	Venus	Tierra s/vida	Marte	Tierra c/vida
CO ₂	98%	98%	95%	0,04%
N ₂	1,9%	1,9%	2,7%	79%
O ₂	trazas	trazas	0,13%	21%
Temp °C	477	290	-53	13



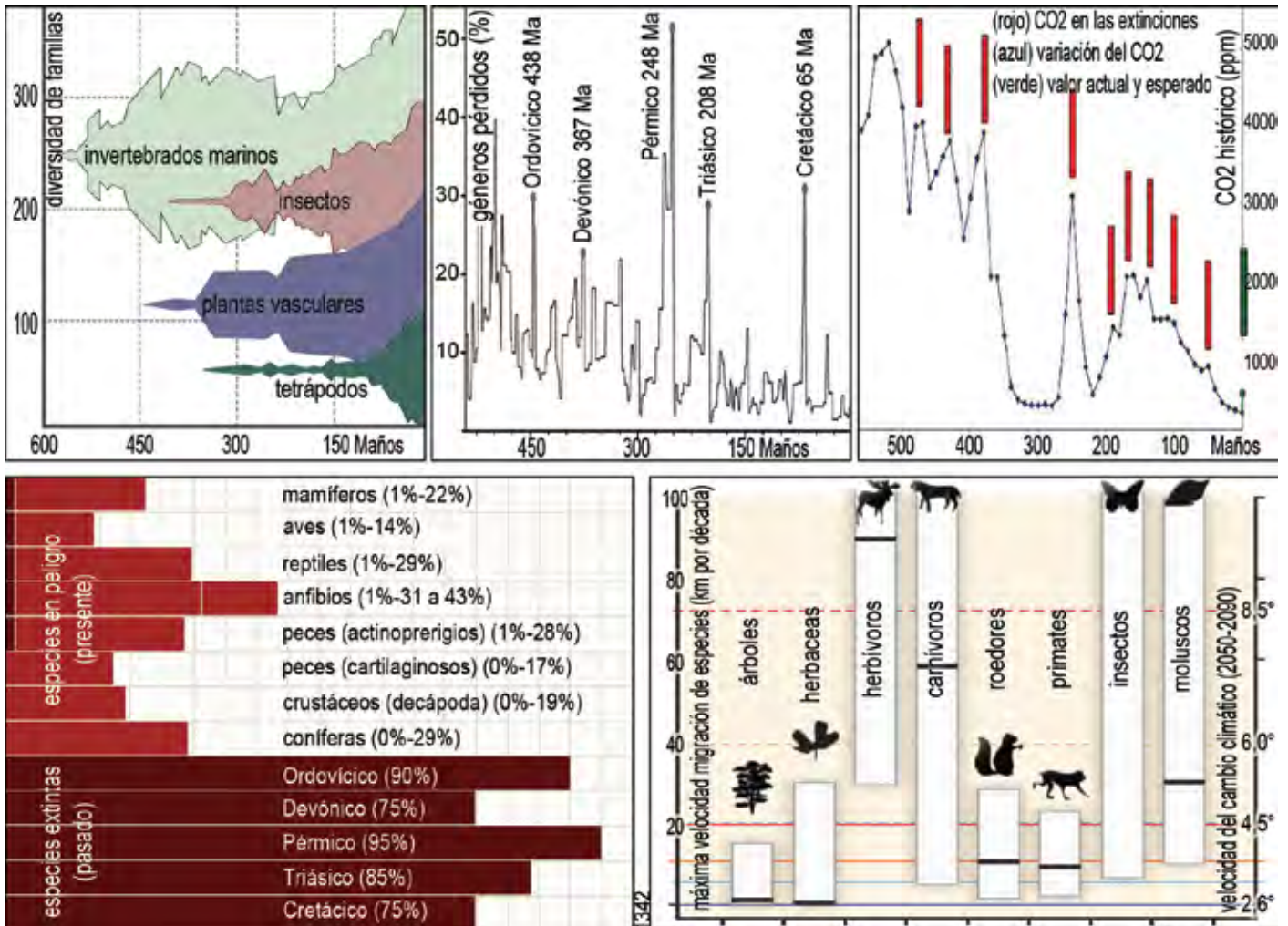
1341. La hipótesis de Gaia sostiene que la vida es la responsable de regular la atmósfera de la Tierra y que por esto es distinta a la de Venus y Marte. La tabla (arriba-izquierda) compara la atmósfera de los 3 planetas y el diagrama (derecha) muestra como la vida modificó la atmósfera para tener un nivel de oxígeno compatible partiendo de una atmósfera sin oxígeno. Los 3 planetas son muy diferentes en sus atmósferas. Marte no tiene atmósfera y carece de efecto invernadero (centro). Venus, tiene una atmósfera inhabitable por el exceso de efecto invernadero. Solo la Tierra posee una atmósfera compatible con la vida, La vida nos entrega una visión de lo que podría ser la "respiración del planeta" (abajo-izquierda). Las variaciones estacionales provocan que los trópicos consuman y liberen CO₂ al ritmo del crecimiento de la vegetación. La mayoría del cambio se encuentra en el hemisferio norte (Canadá y Rusia). La respiración se observa como un aumento de concentración de CO₂ durante el invierno y la absorción por la vegetación en el verano. Existe una tendencia al aumento del CO₂ en el transcurso del tiempo (derecha); junto con un ciclo anual complementario entre los hemisferios norte y sur; y una mayor concentración y variación en el hemisferio norte debido a la mayor superficie con vegetación.

El Antropoceno. La posible (actual) sexta extinción tendría una causa nueva, la actividad humana y está por verse cuan profunda será la pérdida. Es el primer evento global de extinción que tiene una causa biótica, en vez de una causa física. Se puede dividir la Sexta Extinción en 3 fases. La primera comenzó hace 100.000 años cuando los primeros *Homo sapiens* se expandieron fuera de África. En cada lugar donde migraron los humanos, otras especies se extinguieron producto de la caza; la dispersión de organismos causantes de enfermedades o la introducción de plantas y animales exóticos. La segunda fase se inicia hace 10.000 años con la agricultura, la domesticación de especies y la deforestación para cultivos. La tercera ocurre desde hace 250 años, con la revolución industrial y el consumo masivo de combustibles fósiles. En el 2000 se propuso el nombre de Antropoceno para el estado actual de las eras geológicas de la Tierra, donde el hombre es la principal causa del cambio. Esta denominación se superpone con el Holoceno, que se inició hace 11.700 años al inicio de último período interglaciar cálido.

El calentamiento global produce un corrimiento de los ecosistemas hacia los polos. Se calculó una media de 0,42 km/año, con extremos en los bosques de coníferas (0,08 km/año) y los pastizales y sabanas (1,26 km/año). La vulnerabilidad depende, además de la velocidad de

deriva del ecosistema, del grado de fragmentación y las barreras naturales que impiden el movimiento y de la tolerancia de las especies al cambio climático cuando no se puedan mover. Estas velocidades son mayores a las de muchas plantas y sin el soporte de las plantas muchas otras especies se encontrarán atrapadas. Las aves son el grupo más adaptable. En Finlandia se midió que la densidad de individuos de ciertas especies de aves tuvo un movimiento de 45 km hacia el norte en 40 años (1970-2010).

Para interpretar la crisis de extinción actual se introdujo el concepto de "tecnosfera". Es la combinación de la humanidad y su tecnología, donde los animales y plantas domesticadas son partes de ella. La clave no sería el auge de la tecnología, sino la rica vida social de la humanidad, una fuerza impulsora de los cambios en el planeta. Si la tecnosfera se derrumbara, la evidencia física del Antropoceno incluiría una fina cama de eventos de corta duración (estratos urbanos) con raíces profundas (minas y pozos), una perturbación en el clima (de largo plazo) con la reconfiguración permanente de la biosfera (invasiones de especies y un evento de extinción masiva moderado). Si no hay una extinción de la tecnosfera, los cambios serán sostenidos y será determinante en la trayectoria futura de la Tierra.



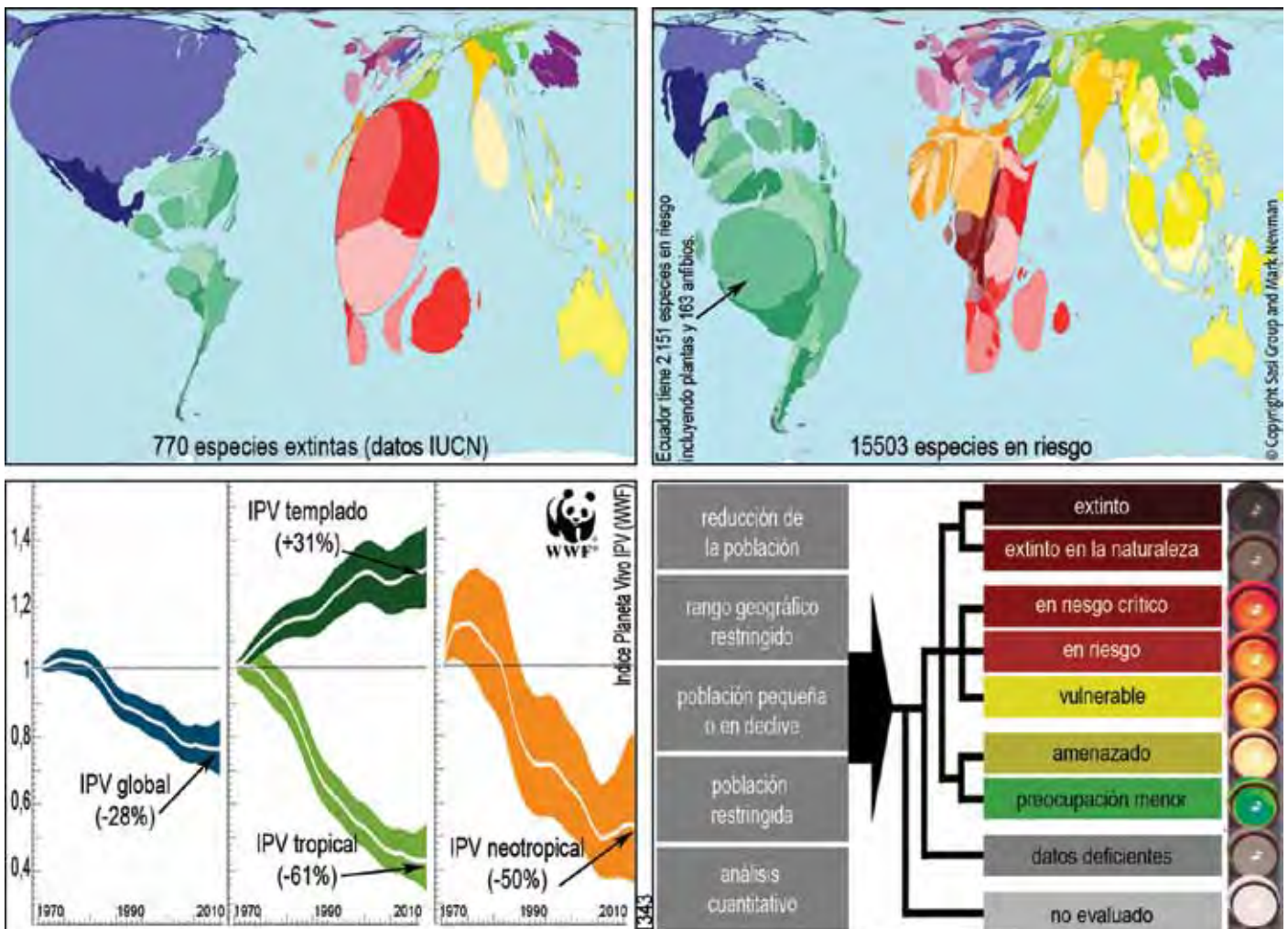
1342. Las extinciones del pasado y el presente. La abundancia de la biodiversidad en los últimos 600 Ma (millones de años) medidos como número de familias (arriba-izquierda) muestra el origen de la radiación de los grupos de plantas y animales. Se definen 5 grandes extinciones (centro) en base a la cantidad de géneros extintos. Existe correlación entre la variación de concentración de CO₂ y las extinciones (derecha). El valor actual es 400 ppm y se espera entre 1.500-2.500 ppm en 200 años (punto y línea verde). Las 5 grandes extinciones del pasado se comparan con las especies en riesgo de extinción actual (abajo-izquierda). Se calculó que en promedio los ecosistemas se mueven a 0,42 km/año hacia los polos debido al calentamiento global (derecha) y que esta velocidad podría ser superior a la que pueden compensar las especies que tengan limitado el movimiento.

Categorías en riesgo. La IUCN (*International Union Conservation Nature*) es un organismo de las Naciones Unidas y considera varias categorías de especies en riesgo de extinción: (1) Especie extinta es donde no hay dudas que todos los especímenes desaparecieron; (2) Especie en peligro crítico y en peligro de extinción es cuando está reducida en número o con su hábitat natural acotado; (3) Especie vulnerable es cuando su cantidad se redujo y continua en esta tendencia; (4) Especies en "riesgo menor" está en peligro pero son dependientes de la conservación o generan cierta preocupación. Hasta ahora se perdió el 1-2% de todas las especies, pero la tendencia, teniendo en cuenta las especies en riesgo, es imparable. Por ejemplo, el caracol de Malasia (*Plectostoma sciaphilum*) se lo conocía solo en una colina de piedra caliza. La colina fue totalmente destruida por la minería y hoy está en la lista de especies extintas.

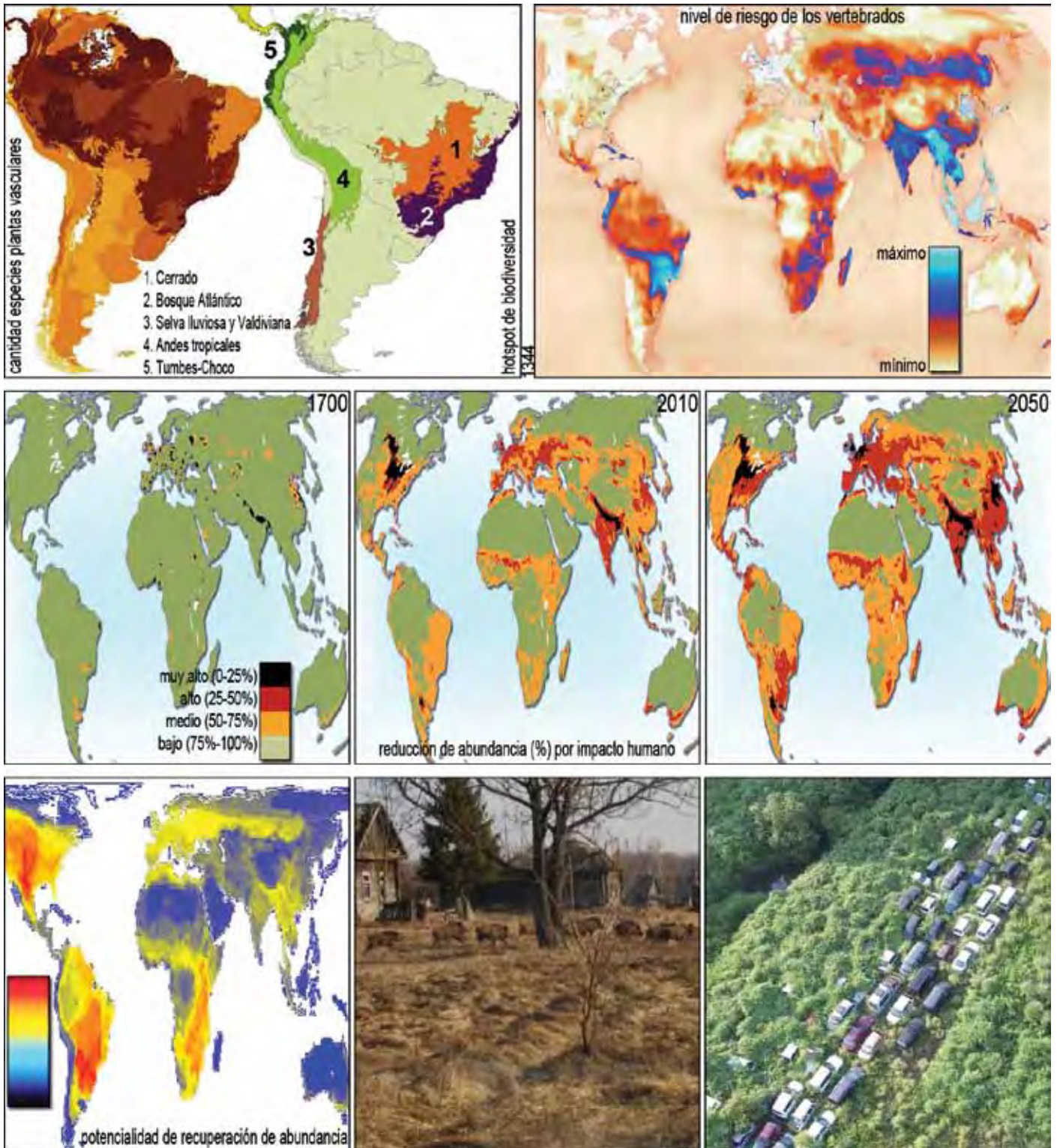
La IUCN en el 2015, llevó la Lista Roja (animales y plantas en peligro de extinción) a 22.784 especies amenazadas sobre un total de 77.340 especies evaluadas. La principal causa (85% de las especies) es por pérdida y degradación del hábitat. Ciertas plantas, como hierbas

silvestres y orquídeas, pueden estar en peligro por la recolección excesiva con fines medicinales u hortícolas. Son 14 las nuevas especies que ingresaron en la categoría de "peligro crítico (posiblemente extinta)", incluyendo 10 especies de orquídeas endémicas de Madagascar.

Según *BirdsLife International*, de las 10.000 especies de aves a nivel global, son 1.313 las amenazadas con distinto grado de riesgo. A nivel nacional, la organización Aves Argentina contabiliza 113 especies amenazadas de las casi 1.000 especies. A nivel global la principal causa de riesgo es la agricultura que amenaza al 73% de las 1.313 especies. Muchas especies tienen causas concurrentes. Por ejemplo, la deforestación amenaza al 49% de las especies; las especies invasivas el 39%; la caza el 34%; el cambio climático el 30%; el desarrollo urbano el 25%; el fuego el 17%; petróleo y minería el 16%; transporte el 14%; contaminación el 13%. Un ejemplo de recuperación es la garza blanca, que es el símbolo de *National Audubon Society*, una organización de Estados Unidos que se dedica a la conservación de la naturaleza. Las hermosas plumas blancas de las garzas fueron muy famosas en el siglo XIX cuando los cazadores



1343. Los riesgos de extinción. Cuando se observan los países donde se produjeron las principales pérdidas de especies se identifica a algunos países de África y el norte de América (arriba-izquierda). Pero, ahora los principales países en riesgo son los del sur de América (derecha). Una estimación lleva la tasa de extinción a nivel global al 75% de las especies para el año 2200. El Índice del Planeta Vivo es un número (IPV 0-1) elaborado por la WWF que indica el cambio de la biodiversidad con origen el 1970 (abajo-izquierda). En Sudamérica el IPV-neotropical lleva la reducción al 50%. Por otro lado, la IUCN define la forma de agrupamiento para determinar las especies en riesgo de extinción y otras categorías similares (derecha). Para hacer la Lista Roja se estudiaron 77.340 especies en 50 años y 22.784 fueron puestas en algún tipo de peligro de extinción (datos de 2015). La IUCN está haciendo lo mismo para ecosistemas, donde la categoría "especie extinta" se cambia por "ecosistema colapsado". Así aparecen los ecosistemas en riesgo de colapso. El objetivo es tener para el año 2025 un balance de todos los ecosistemas mundiales.



1344. Los riesgos sobre la vida. Los puntos calientes (*hot spot*) son zonas de alto peligro para la biodiversidad (arriba-izquierda). En Sudamérica son 5 regiones que coinciden con la abundancia de especies y la agricultura. La imagen global (derecha) incluye los océanos y muestra las regiones con riesgos para los vertebrados. Un mapa de reducción de la vida debido al impacto humano (centro) muestra las pérdidas en la biomasa desde la era preindustrial (1750). La proyección al año 2050 muestra fuertes pérdidas en la Argentina y Brasil por la agricultura (derecha). Sin la intervención humana, el potencial de recuperación es máximo en América (abajo-izquierda). Algunos ejemplos de recuperación son: la Zona de Exclusión por accidentes nucleares en Chernobyl (centro) y Fukushima (derecha); la Zona Desmilitarizada entre las dos Coreas (250 km largo por 4 km de ancho); el Tapón de Darién (frontera entre Panamá y Colombia); la vieja Cortina de Hierro (12.300 km de largo que cruza a 24 países). Por ejemplo, en la Zona de Exclusión en Chernobyl (4.200 km²) se eliminó la presencia humana. En el primer año se redujo la vida silvestre por los isótopos de corta vida (p.e., Iodo-131). Para en el 2015, la abundancia de alces, corzos, ciervos rojos y jabalíes era similar o superior a las 4 reservas naturales no contaminadas de la región. El número de lobos es 7 veces mayor que en los parques naturales. La radiación afecta a nivel individual, pero la población de mamíferos (a nivel comunitario) se recuperó, aún con una exposición crónica equivalente a una tomografía computada semanal. Las pérdidas individuales son intolerables para los humanos, pero en los ecosistemas naturales los individuos se reponen dentro de la comunidad.

obtenían el plumaje para el mercado de la moda femenina. La población cayó entonces un 95%; pero hoy se ha recuperado mediante una protección legal que lleva un siglo.

Las especies y ecosistemas ya empezaron a responder al calentamiento global. Hay cambios en las fechas de las aves migratorias y el corrimiento de especies hacia zonas que antes no visitaban. Los dispersores débiles (anfibios) son los más afectados por la velocidad de cambio, mientras que los dispersores fuertes (aves) suelen adaptarse más rápido. Además, los anfibios sufren la fragmentación del ecosistema. Las mariposas, en cambio, tienen un ciclo de vida corto y deberían adaptarse más rápido. Una especie de mariposa en Inglaterra está afectada por otra causa: el ciclo oruga-mariposa-oruga está ocurriendo fuera de tiempo y las orugas no encuentran alimento apropiado. Desde 1976 al 2014 se midió una pérdida del 86% en la mariposa *Lasiommata lasiommata*. Además, los bosques se adaptan muy lentamente, sufriendo las sequías, incendios, patógenos y plagas. La muerte de los bosques puede liberar el carbono más rápido de lo que se acumula por fotosíntesis, con lo que se convierte en una fuente de gases GEI. Si desaparece la selva los primeros ausentes son los predadores que mantienen el equilibrio entre insectos.

Índice Planeta Vivo. El WWF prepara un índice con base en 1970 como indicador de la biodiversidad. En el 2012 midió 9.014 poblaciones de 2.688 especies de vertebrados (mamíferos, aves, reptiles, anfibios y peces), en todas las regiones del mundo. El resultado muestra un descenso de las poblaciones del 30% durante los últimos 40 años a nivel global. Pero, mientras en las zonas templadas (Norteamérica y Europa) aumentó un 30%, en las tropicales descendió un 60%. En particular, la región neotropical (Sudamérica) tienen una caída del 50%. Las zonas templadas muestran un incremento porque sufrieron las grandes pérdidas antes de 1970 (origen de la estadística) y gracias a los esfuerzos de conservación de las presentes décadas. Por ejemplo, la ballena de Groenlandia (*Balaena mysticetus*) pasó de 2.000 a 10.000 ejemplares gracias a la veda de captura.

Se estimó que, en los últimos 500 años, por lo menos 80 especies de mamíferos desaparecieron, de un total de 5.570 especies. Las pérdidas en insectos son muy difíciles de calcular debido a la casi imposibilidad de computar su número. Sin embargo, la pérdida de hábitat en las selvas ecuatoriales se lleva innumerables especies que están adaptadas a espacios muy pequeños. Las selvas lluviosas tropicales están muy afectadas: de los 16 Mkm² (millones de km²) de selva que existían, quedan menos de 9 Mkm². El ritmo de deforestación es de 0,16 Mkm² anuales (1% de selva original por año). La pérdida de bosques se compensa en parte por la forestación mediante monocultivos (silvicultura de un solo tipo de árboles) para la producción industrial.

En el censo presentado en el 2013, y que tardó 10 años en realizarse, la selva amazónica entregó un total de 390.000 millones de árboles en 16.000 especies diferentes. El 50% de los árboles está concentrado en 277 especies dominantes. Pero, 6.000 especies tienen menos de 1.000 ejemplares y se encuentran dentro de la definición de "peligro de extinción". Estas selvas tienen una diversidad fascinante. En un estudio en Perú se contaron 300 especies de árboles en una hectárea (casi la mitad de las especies nativas de Norteamérica). En otro, se computaron 1.300 especies de mariposas y 600 de aves en un área de 5 km². Un conteo en un solo árbol entregó 43 especies de hormigas (casi igual que en toda Inglaterra). Una hectárea de selva amazónica

en Perú contenía cerca de 40.000 especies de insectos, donde la mayor parte son escarabajos coleópteros.

Hawái, por su aislamiento, es un laboratorio de gran interés. La familia *Amastridae* está formada por caracoles de tierra y se identificaron 325 especies endémicas de Hawái. Hoy día solo sobreviven 15 especies con una tasa de extinción del 14% por década. Este valor preciso pone en evidencia el poco conocimiento que disponemos sobre la tasa de extinción de las especies. Las especies extintas están, lo difícil es contabilizarlas.

El caso: "los buitres". Hacia 1990 en la India había una población de 40 millones de buitres (*Gyps* sp.) clasificados en 3 especies. Una década después ingresaron en la lista de especies en peligro porque habían perdido el 97% de la población (99,9% para el 2013). En el 2004 se confirmó que la causa era el fármaco diclofenaco que se administra al ganado vacuno. En los humanos y el ganado, el diclofenaco amortigua el dolor y las inflamaciones, pero en los buitres produce problemas renales o limita la reproducción. Con la desaparición de los buitres, las vacas se pudren al sol, donde se incuba la bacteria *Bacillus anthracis* que luego produce carbunco (enfermedad contagiosa, aguda y grave) en los perros que se alimentan de carroña. Este es un ejemplo de interrupción de un ecosistema por una actividad humana en apariencia inocente. Si bien en el 2006 se prohibió el uso de diclofenaco para veterinaria, se siguió usando la versión humana en animales. Un programa de reintroducción proyectaba que en el 2014 unas 100 crías de buitres de cautiverio serían liberadas en "zonas seguras" (200 km de diámetro sin diclofenaco). Pero, uno de los problemas del programa de recuperación de buitres es que ponen un solo huevo al año.

En Camboya el diclofenaco no se usa y la población de buitres se mantiene estable (la cantidad aún obliga a que permanezcan en la lista roja de peligro crítico). Aunque el gobierno camboyano prohibió el uso futuro de diclofenaco, la presión se mantiene por la caza y el envenenamiento, debido a que los buitres viven de los animales domésticos. Las organizaciones conservacionistas están financiando a los pobladores para la vigilancia de nidos y para complementar la alimentación de las crías. En Europa el diclofenaco está permitido y en España e Italia viven 55.000 buitres. En las Islas Canarias los buitres no existían hasta hace 2.500 años, cuando el hombre llegó con animales silvestres, lo que mantuvo la población de carroñeros. En la Argentina, el diclofenaco está permitido y clasificado como Grupo III (requiere receta veterinaria para la venta). Los argumentos de las firmas farmacéuticas es que no deben dejarse los animales tratados para ser consumidos por la vida silvestre. En cambio, para los hindúes las vacas son sagradas desde hace 2.500 años, son un símbolo de fertilidad y maternidad, solo se aprovecha la leche y no pueden ser maltratadas ni comidas, por lo que terminan como alimento de los buitres. Opuesto al diclofenaco es el Ibuprofeno (inventado en los años '60 y usado como antiinflamatorio para aliviar el dolor). En ciertas especies (levadura de pan, gusanos y moscas) una dosis diaria (equivalente a la consumida por el hombre) aumentó un 15% de longitud de la vida.

En África las 7 especies de buitres se redujeron en 80% en solo 3 generaciones (6,7% de pérdida en promedio al año). En el Cuerno de África los buitres procesan el 22% de los residuos y mantienen a raya a los perros y la rabia. Las principales amenazas para la población de buitres en África son: el veneno que usan los agricultores contra leones o hienas; los pesticidas para cosechas; los cazadores furtivos que los matan para

evitar ser delatados ante los guardaparques; la medicina tradicional que considera algunas partes del cuerpo como buena suerte o para alejar los malos espíritus (los ojos y el cerebro son apreciados para la clarividencia); la carne se come y ahumada se trafica a nivel internacional; otra amenaza reciente es la electrocución en las líneas eléctricas.

Ecosistemas en riesgo. La IUCN se encuentra en proceso de definición de ecosistemas en riesgo (lista roja) similar a la de especies. Pero, la categoría "extinto" para especies se cambia por "colapsado" para ecosistemas. Un ecosistema colapsado es imposible que pueda volver al estado original. La Unesco tiene una lista de 48 lugares declarados Patrimonio Mundial que considera en peligro. Algunos ejemplos de la lista de Unesco son los arrecifes de coral del Caribe (Belice); el P.N. Everglades (Florida); los bosques tropicales de río Plátano (Honduras). La lista de la IUCN será mucho más extensa pero requiere un largo proceso de ajuste para poder definir las categorías. Por ejemplo, el Mar Aral (Uzbekistán) se encuentra colapsado (equivalente a una especie extinta) porque quedó reducido al 10% de superficie, perdió las especies de peces endémicos y está impregnado de agroquímicos en el suelo desértico. En cuanto a los corales del Caribe un estudio WRI (*World Resources Institute*) sentenció en 2005 que dos tercios de los arrecifes están amenazados por actividades humanas y estiman pérdidas por la disminución de pesca, el turismo de buceo y los servicios de protección costeros (barrera ante temporales marinos). La presión turística, la agricultura intensiva, la sobrepesca y el cambio climático (blanqueamiento del coral) son aliados para poner en peligro a este punto caliente de la biodiversidad terrestre.

La definición de un ecosistema en riesgo de colapso tiene sus propias particularidades. Por ejemplo, escala de aplicación (global, regional, local); pérdida de área del ecosistema (nivel de criticidad); obtener evidencias de la degradación; cambios de los servicios ecosistémicos (conversión o pérdida de funciones); aplicación a ecosistemas terrestres, marinos y subterráneos; conocimiento de las causas. El trabajo aparece extenso, ya que un balance global del estado de los ecosistemas se espera para el año 2025. Se quiere detectar los ecosistemas que están en buen estado para reconocer las "mejores prácticas" en el manejo de ecosistemas.

Otro punto de vista. Un punto de observación diferente entrega otros argumentos. La biodiversidad se encuentra en peligro, entendiendo esto como pérdida de especies. También los ecosistemas son forzados al cambio. Pero, la vida no está en peligro, solo está bajo presión. A lo largo de la historia de la Tierra, la vida demostró que es resiliente (capaz de sobreponerse a períodos traumáticos) ya que nunca se extinguió y soportó catástrofes de magnitudes planetarias. La naturaleza (la vida) no es frágil, resiste la adversidad y se adapta. Si se observan una por una las especies y ecosistemas, se ven en peligro, pero si se toma el conjunto se observa que se modifican y seguirán adelante asumiendo las pérdidas. Desde este punto de vista, lo que el hombre pone en peligro es la propia cultura humana y los ambientes tal cual se conocen hoy día. Es decir, cualquiera sea nuestra actitud lo que hagamos lo hacemos por nosotros, no por caridad hacia la naturaleza.

Ética y derecho de los seres vivos

El valor de la complejidad. La biodiversidad tiene un valor producto de 3.900 millones de años de diversificación y evolución desde el origen de la vida. Es un concepto amplio que involucra 3 niveles: (1) diversidad genética (intraespecífica), consiste en la diversidad de genes entre individuos de la misma especie; (2) diversidad específica (sistemática), incluye la pluralidad de genomas entre distintas especies y (3) diversidad ecosistémica, incluye las distintas comunidades biológicas que forma la biosfera (combinaciones de diferentes reinos como animal, vegetal, hongos y sus asociaciones). En tanto la biología considera la diversidad de organismos, la ecología incluye la diversidad de interacciones entre especies y su ambiente. En el ecosistema los organismos son parte de un todo.

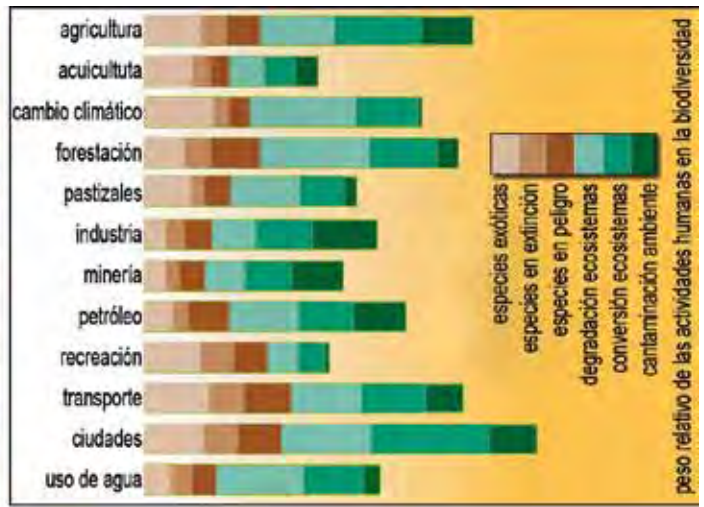
Desde un punto de vista ético todas las especies tienen derecho a seguir su evolución (en forma) natural y esto podría incluir a los ecosistemas. Así, el hombre debería cuidarse de intervenir y romper el derrotero natural de las especies y ambientes. Además, la diversidad es garante del equilibrio en la biosfera y asegura los servicios básicos para nuestra supervivencia. También representa un capital económico natural. La diversidad biótica es determinante en la producción, recuperación y reconversión de desechos y nutrientes. Algunos ecosistemas son capaces de degradar toxinas, o de fijar y estabilizar compuestos peligrosos de manera natural. De aquí deriva el concepto de "servicios ecosistémicos". El desequilibrio tiene consecuencias negativas y es probable que la pérdida de especies disminuya la habilidad del sistema en su conjunto para mantenerse o recuperarse.

La biodiversidad contiene recursos útiles para los humanos (alimentos, farmacéutica) y puede ser origen de conflictos por esos recursos naturales. Una parte del valor de la biodiversidad es económica, pudiendo ser explotada en forma directa (alimento, provisiones y cultura) o indirecta (purificación de agua, regulación de inundaciones). Pero mucho del valor se encuentra en servicios que aún no se conocen y es imposible valorar. Hoy día, solo 30 especies de plantas cultivadas suministran el 90% de la dieta y 14 especies de animales el 90% del ganado. Aunque más del 90% de las variedades de plantas alimenticias se hallan en bancos de semillas, se conocen y usan muy pocas. Es probable que los medicamentos sigan fabricándose a partir de síntesis de moléculas y no de destilados de plantas naturales; sin embargo, se utilizan en todo el mundo de 30.000 a 70.000 especies de plantas como remedios tradicionales.

La principal causa de la pérdida de biodiversidad es la actividad agropecuaria. Inventada varias veces en lugares diferentes hace unos 10.000 años, produce un cambio ecológico profundo en la historia de la vida. Los humanos, desde la revolución cultural-agrícola no viven en la naturaleza, sino fuera de ella. Las especies de plantas nativas no usadas se clasifican como "malezas" indeseables y todas las especies de animales (menos unas pocas domesticadas), se consideran "plagas". La agricultura removió el límite natural que imponían los ecosistemas locales al tamaño de las poblaciones humanas. La sobrepoblación (expansión de la biomasa humana), las especies invasoras y la sobreexplotación aceleran la pérdida de biodiversidad. Una visión "holística" de la naturaleza observa el todo en lugar de las partes y admite la

sinergia entre las partes. Es lo opuesto al reduccionismo, de forma que existe el "principio de emergencia" donde a partir de cierto umbral de criticidad aparecen nuevas propiedades emergentes en el sistema.

Las especies exóticas, ¿aumentan o reducen la biodiversidad? Las especies exóticas (alóctonas) son presentadas como una amenaza grave para las especies nativas (autóctonas). Las características que



100 DE LAS ESPECIES EXÓTICAS INVASORAS MÁS DAÑINAS DEL MUNDO

REINO/GRUPO	ESPECIES	EFECTOS
ANIMALES	Alcega (Centauroa erythrorhiza)	...
PLANTAS	...	...
...



Planta	Uso en (efecto comprobado)
<i>Allium sativum</i>	arterioesclerosis (reduce agregación plaquetaria)
<i>Arnica montana</i>	golpes y lesiones (antiinflamatorio)
<i>Artemisia annua</i>	malaria (antiparasitario)
<i>Angelica sinensis</i>	hepatitis y cirrosis (hepatoprotector)
<i>Astragalus radix</i>	gripe (inmunoestimulante)
<i>Centella asiatica</i>	heridas y quemaduras (activa colágeno)
<i>Crataegus oxyacantha</i>	enfermedad cardiovascular (mejora permeabilidad vascular)
<i>Echinaceae purpurea</i>	infecciones respiratorias (inmunoestimulante)
<i>Ginkgo biloba</i>	insuficiencia carebrivascular (antioxidante)
<i>Glycyrrhiza glabra</i>	úlceras gástrica y duodenal (activa prostaglandinas)
<i>Matricaria chamomilla</i>	inflamación visceral (inhibe prostaglandinas y leucotrienos)
<i>Opuntia ficus-indica</i>	diabetes mellitus (hipoglucemiante)
<i>Panax ginseng</i>	debilitamiento y stress (adaptógeno y tónico)
<i>Plantago psyllium</i>	prevención de infarto (hipocolesterolemia)
<i>Psidium guajava</i>	antidiarreico (antagonista al calcio)
<i>Tanacetum parthenium</i>	migraña (antiserotoninérgico)
<i>Thymus vulgaris</i>	faringitis y amigdalitis (antimicrobiano)
<i>Zingiber officinale</i>	migraña y mareo (antiserotoninérgico)



1351. El valor de la biodiversidad. La biodiversidad es el resultado de 4.000 millones de años de evolución y la pérdida del capital genético puede ser un problema para el proceso de adaptación a futuro (arriba-izquierda). Un estudio realizó una ponderación relativa (sin unidades) de cómo afectan las distintas actividades humanas a la biodiversidad (derecha). Se toman en cuenta diversas actividades (agricultura, industria, ciudades, etc.) sobre algunos aspectos del ambiente y la vida (especies y ecosistemas). Una carga para la biodiversidad son las especies invasoras (especies extrañas que triunfan en el nuevo hábitat). Son un producto de la globalización del transporte que distribuye especies entre diferentes partes del planeta (centro). Es normal culpar a las especies invasoras de las pérdidas sobre las nativas y considerarlas plagas en ciertas oportunidades. La IUCN mantiene una lista de las especies más perjudiciales en todo el planeta (izquierda). Una forma de valorar la biodiversidad es considerar el aporte de las plantas a la medicina tradicional (abajo). Un listado reducido permite observar la variedad de efectos de las plantas, aunque los medicamentos de la industria farmacéutica (medicina moderna) se basan en la síntesis de moléculas y hacen poco uso de la medicina natural tradicional.

se les atribuye para el éxito son: se adaptan rápido y mejor que las nativas; escapan de sus enemigos naturales; usan armas novedosas frente a las nativas desprevenidas y modifican el ambiente y el equilibrio natural en su favor. Otro punto de vista dice que de todas las exóticas solo el 10% sobrevive en un ambiente natural nuevo y de estas solo el 10% se convierten en un problema. En Inglaterra se contabilizaron 650 especies extranjeras llegadas desde 1950, pero solo el 15% se consideran que tienen un impacto negativo. Del total de 1.875 especies exóticas, el 75% son plantas. Las invasoras no son todas malas, pero son un arma de doble filo y aquellas que triunfan y son negativas tienen toda la prensa en su contra. Incluso las nativas actuales fueron alguna vez exóticas que llegaron por propagación y colonización. En el hemisferio norte, luego de la última glaciación, no había plantas y todo el espacio fue colonizado. ¿Cuánto tiempo debe pasar para que una extranjera se considere nativa? Visto a largo plazo las plantas y animales cambian su distribución. Por ejemplo, los camellos son originarios de Norteamérica, donde hoy ya no existen; ¿deben considerarse como nativos o extranjeros?

En el mar Mediterráneo hay 17.000 especies descritas, de las cuales el 20% son endémicas. Se estudiaron cerca de 1.000 exóticas que llegaron mediante el transporte, acuicultura (60 especies de algas) y canales de navegación (400 especies de peces e invertebrados por el canal de Suez). En el Mediterráneo, cerca del canal de Suez, el 40% de la fauna marina es exótica. Existía una barrera natural hasta que fue removida por las obras de canalización. Lo mismo ocurre entre la Argentina y Chile, donde de las 900 especies de plantas exóticas entre ambos países, 300 solo están en Chile, otras 300 solo en la Argentina y 300 en ambos países. La porosidad de los Andes mediante el transporte comercial hace que el número tienda a nivelarse. Las plantas exóticas pueden sustituir a las nativas y amenazar la biodiversidad. Pero otros dicen que causan poco daño duradero e incluso hacen a los ecosistemas más diversos, no menos. Existen beneficios aportados por especies "extranjeras" como el trigo y las vacas; aunque mucho se discute sobre las plantaciones de árboles exóticos (*Eucalyptus* y pinos), muy usados en la silvicultura de todo el planeta.

Varias especies de la Argentina tienen impacto como exóticas en el resto del planeta. Tal el caso de la hormiga argentina (*Linepithema humile*), la cotorra (*Myiopsitta monachus*); el camalote (*Eichornia crassipes*); el caracol ampularia (*Pomacea canaliculata*), etc. Por ejemplo, ampularia es un caracol de agua dulce, que se comercializa para alimento humano. En el sudeste de Asia se introdujo para alimentación y en la vida silvestre se lo considera plaga. Reemplaza a los caracoles nativos porque no tiene predadores y come todo tipo de plantas acuáticas. Está incluido en la lista de 100 especies más dañinas elaborado por la IUCN. En la Argentina muchas aves se alimentan de ampularia: como el cará que rompe el caparazón con la punta del pico; el gavilán caracolero tiene el pico doblado que usa para extraer la parte blanda del caracol; patos y gallaretas los tragan enteros cuando son pequeños. En los países donde se perdió el control, ningún predador local consume por el momento la *ampularia*.

El mburucuyá (*Edulis passiflora*) es una planta del noreste argentino que es exótica en el mundo y muy comercializada a pesar de ser invasiva en los trópicos. El número de especies vendidas y potencialmente invasoras podría ser muy elevado y las normas que rigen el comercio de estas plantas son lábiles. Parece difícil detener la ola de comercio en Internet de especies que son una amenaza. Muchos

países ya tienen reglamentos con el objetivo de frenar la propagación de especies invasoras. Suiza, por ejemplo, tiene una ordenanza especial sobre la liberación de ciertos organismos, y los países de la Unión Europea están en el proceso de elaboración de una lista de especies que son reconocidos como invasores.

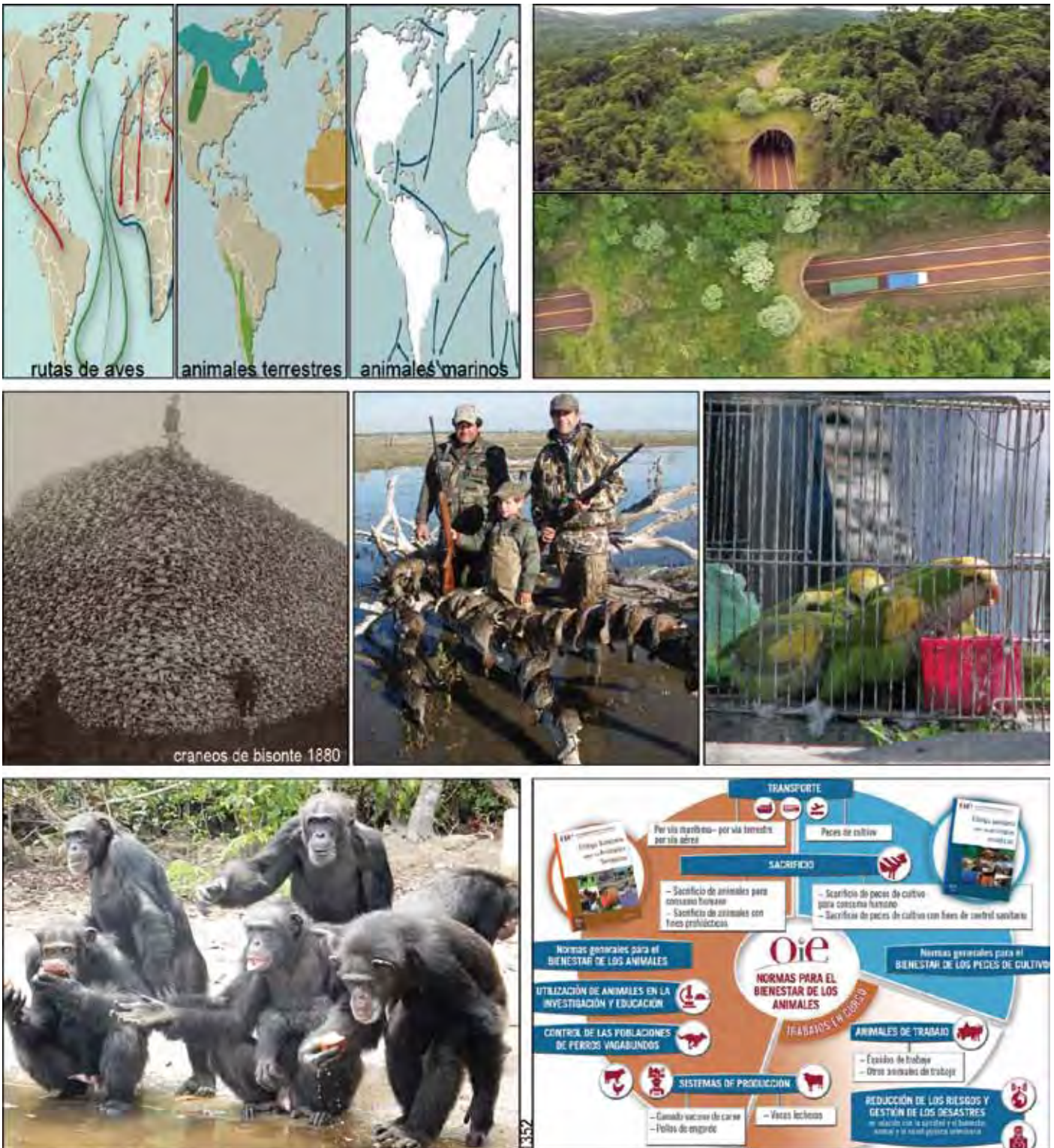
Algunos piensan que las especies no son perjudiciales sólo porque se introducen. Dicen que la mayoría de las exóticas aumentan la biodiversidad en lugar de reducirla, aunque es cierto que introducen un stress en la fauna nativa. Proponen tener una actitud más conciliadora y tratar a cada especie por sus méritos; acostumbrarnos y dejar que se establezcan en convivencia cómoda. Como lo hicieron siempre cuando pudieron migrar entre territorios. Por ejemplo, la garcita bueyera (*Bubulcus ibis*) es originaria de África y se avistó por primera vez en América en Suriname (1880). Se sabe que no es una especie introducida por el hombre y convive en armonía con el ganado en las pampas.

El caso: "Pacífico Sur". En Nueva Zelanda se estudiaron dos islas vecinas con casos opuestos. En una de ellas la población nativa de polinizadores desapareció debido a las especies introducidas. En la otra las especies nativas están intactas y los vertebrados (aves y murciélagos) son los encargados de la polinización de las plantas. Lo interesante es que, en la isla colonizada los vertebrados exóticos (otras aves y ratones) tomaron el lugar como polinizadores y las plantas siguen su ciclo anual sin diferencias. Los victimarios ocuparon el rol de las víctimas en un nuevo balance del ecosistema. Quitar a estos invasores podría ser un problema para el ecosistema autóctono.

Otras dos islas (Auckland y Campbell) permitieron determinar la causa de la reducción en la población del león marino (*Phocarctos hookeri*) en Auckland. Las posibles causas estudiadas fueron: enfermedades, depredación, migración, cambio ambiental, contaminantes, competencia por recursos y muertes por captura. Como resultado se encontró que la reducción en Auckland (en Campbell la población es estable y sirve de grupo de control) se debe a la disminución de la pesca (competencia con el hombre) y captura incidental. El hombre es la causa.

La isla Macquarie está al sur de Nueva Zelanda y pertenece a Australia. Desde 1810 los barcos pesqueros introdujeron en forma inadvertida las ratas. Más tarde, se llevaron gatos para controlar la población de ratas que atacaban las despensas. En 1870 se llevaron conejos para la alimentación de los cazadores. Un siglo más tarde las poblaciones estaban fuera de control y los gatos se alimentaban de aves marinas. En un esfuerzo por salvar las aves marinas, se sacrificó toda la población de gatos en una campaña que terminó en el año 2000. Entonces, la población de ratas y conejos se disparó. Los roedores generaban túneles que debilitaban el terreno y los conejos (más de 100.000 en el 2006) comían hierba y erosionaban el terreno. En el 2006 un desmoronamiento produjo daños en una importante colonia de pingüinos. En el 2007 se puso en marcha un programa de exterminio de ratas y conejos (control letal de la vida silvestre). En el 2012 se informó que dicho plan había concluido. En el 2014 se declaró a la isla libre de plagas, luego de 2 siglos de distorsiones.

Control letal de la fauna silvestre. La construcción de una represa en el río Oregón (Columbia) casi extermina a los salmones y truchas. Cuando la población comenzó a recuperarse, el número de cormoranes aumentó. En el 2015, los cormoranes consumían el 2% de los salmones y el 6% de las truchas. Salmones y truchas están en



1352. La relación ética con la vida. La relación con las especies es conflictiva. Por ejemplo, las especies migratorias requieren una continuidad de territorio para movilizarse (arriba-izquierda). La intervención humana en los ecosistemas produce una fragmentación debido a la agricultura y la deforestación. Para los animales terrestres las carreteras y autopistas suelen ser escollos difíciles de salvar. Una forma de mitigar el problema de las carreteras es la construcción de puentes especiales para animales terrestres. Tal el caso del corredor biológico (pasafauna o ecoductos) en la Provincia de Misiones (derecha). Las manadas de bisontes eran incompatibles con los inmigrantes que reclamaban espacio en las praderas de Estados Unidos. La caza llevó a la casi la extinción de los bisontes (centro-izquierda). Algunos se salvaron del exterminio y el P.N. Yellowstone tiene una población de 4.000 y el P.N. Wood Buffalo tiene 10.000. En la Argentina, la caza de palomas está permitida por considerarse plaga y la de patos y algunos mamíferos está permitida por temporadas (centro). En tanto, el tráfico y venta de animales silvestres no está debidamente controlado (derecha). Otro problema es el uso de animales para la investigación científica. Por ejemplo, un grupo de chimpancés en Liberia usado en investigación médica (abajo-izquierda) se volvió totalmente dependiente del ser humano. La OIE (Organización Mundial de Sanidad Animal) permite obtener información sobre enfermedades de todos los países miembros como forma de control (derecha).

la lista de peligro de extinción. El plan propuesto por el gobierno fue cazar con rifles 16.000 cormoranes y destruir 26.000 nidos (pintando con aceite los huevos). Esto reduciría la cantidad de parejas de 12.000 a 5.000 para mantener la población de salmones y truchas estable. Esta estrategia de "control letal" actúa sobre los cormoranes, que no son el problema ya que antes vivían en equilibrio con los salmones. El problema es la represa que impide la migración de salmones.

Otro caso de esta estrategia en la costa oeste de Norteamérica es la caza de 3.600 búhos barrados (originarios de la costa este) para salvar a los búhos manchados (autóctonos) cuya población cae entre 4 y 8% al año. El número de 3.600 es solo la primer etapa experimental para medir el efecto de protección entre especies competidoras. En Idaho, las estructuras humanas (torres eléctricas y de comunicaciones) sirven de percha para los cuervos que cazan a los urogallos. La propuesta es envenenar a los cuervos para mantener la población de urogallos. En Alberta (Canadá) los caribúes de los bosques y los lobos rara vez se cruzaban, hasta que los caminos forestales y oleoductos lo permitieron. Las manadas de caribúes se redujeron drásticamente y ahora se están cazando los lobos. En Estados Unidos los lobos se cazaron hasta casi la extinción y hoy están protegidos solo en el 5% del área de distribución histórica. ¿Cuánto espacio es suficiente? En New York se propuso exterminar a los cisnes mudos, que son exóticos (europeos) y muy agresivos con las especies nativas compitiendo por los lugares para anidar. Pero una protesta pública evitó la matanza ya que son grandes, hermosos y desarrollan un vínculo emocional con los humanos.

Algunos conservacionistas se oponen a la intervención y dicen que no es tolerable cazar individuos de una especie para beneficio de otra. Esto es parte de una discusión que se denomina "ética de la conservación viable y práctica basada en la compasión". La tesis del "mal menor", por el cual puede tolerarse la matanza controlada para salvar otra especie, lleva a la "matanza experimental" donde se producen muertes controladas lo más humanitarias posibles. Se argumenta que existe poca compasión cuando se matan individuos sanos y prósperos en bien de una especie en peligro. ¿Cuántos individuos es tolerable matar de una especie para proteger a otra especie? ¿Los que sean necesarios? El principio rector de la conservación es la compasión (no hacer daño). La vida de cada individuo (y no la especie) es lo que se valora (por el sufrimiento individual). No sería aceptable actuar sobre una especie para favorecer a otra, porque se interviene sobre individuos. La propuesta de esta rama del conservacionismo es dejar a la naturaleza seguir su curso. Pero entonces, ¿se admitiría la desaparición o extinción de una especie? El problema es que el hombre elimina o transforma los hábitat y luego que crea el problema quiere intervenir para impedir la extinción de las especies en peligro. Este problema será mayor en la medida que más especies se encuentren en peligro de extinción.

El "dilema del tren" es un experimento mental para determinar el grado de intervención que admitimos. Un tren fuera de control se dirige hacia 5 personas que no pueden salvarse. Afortunadamente estamos cerca de la palanca de cambio de vías y en ese caso el tren correría sobre otra vía donde mataría a una sola persona. El dilema moral es ¿debemos accionar la palanca? Si lo hacemos, estamos aceptando el mal menor. Esta acción, ¿debería ser considerada el homicidio de una persona o un acto de compasión por salvar 5 personas?

La caza y colección por placer. Opuesto al control científico de la fauna silvestre se encuentra la caza por placer (una actividad

legal) y la caza furtiva (ilegal). Los que defienden la caza deportiva argumentan: cazar es un acto natural en el hombre (es cierto en la caza de subsistencia, pero no en la caza deportiva donde el objetivo no es la alimentación); el cazador paga por la presa y lo recaudado se destina a conservación; la caza de especies que son plagas o exóticas ayuda a controlar el exceso de la población (una variante del control de la población silvestre sin el control estricto de resultados); la caza mantiene una población sana (es cierto en la relación natural predador-presa, pero los humanos pretenden las mejores presas sanas y fuertes).

La ética de los seres vivos se posiciona sobre 3 puntos de vista: (1) los especistas, que separan al hombre del resto de los animales y colocan al hombre por encima y dueño de utilizarlos. (2) los antiespecistas bienestarristas que defienden el trato "humano" de los animales, con una visión utilitarista donde un daño puede ser tolerado si se produce un bien necesario. (3) los antiespecistas abolicionistas que bregan por el rechazo a la discriminación y están a favor del veganismo y los derechos de los animales.

En la Argentina, varias especies de aves (palomas, cotorras) son consideradas plagas en la producción agrícola y sujetas a control letal. Los especialistas segmentan las acciones en: prevención (reducción del riego evitando la superposición de actividades humanas con la vida silvestre); control (manejo de la vida silvestre o la actividad humana); remediación y compensación. Con las cotorras se usaron técnicas de incendio de nidos, caza con rifles, captura con trampas y redes y pulverización de nidos con insecticidas. Con las palomas se aplicaron tóxicos y casería. No se conoce en detalle una evaluación sobre la reducción del daño económico en relación con el costo de las campañas de exterminio. Sin embargo, las matanzas son cada vez peor evaluadas por la comunidad en general.

La caza de animales silvestres es tolerada por la perseverancia de los especistas. En la Argentina está permitida y regulada la caza menor y mayor. Entre las especies plagas se encuentran las cotorras y palomas, vizcacha y cuís y en estos casos la caza está permitida todo el año. Otras especies solo se admiten en períodos cortos. Por ejemplo, la provincia de Buenos Aires en la temporada 2015 (1 mayo hasta 2 agosto) autorizaba la caza de hasta 7 patos por día y persona (pato barcino, maicero, cuchara, picazo y sirirí pampa); de 10 liebres y 6 perdices. Algunas zonas en particular, incluidas las Reservas, no están autorizadas. Los excesos son frecuentes: en el 2011 un grupo de 5 cazadores extranjeros guiados por una firma reconocida usaron 1575 cartuchos y cazaron 877 patos, pero solo tenían autorizados 250. ¿Es el Estado dueño de la vida silvestre? En algunos campos se organiza la caza de palomas y en otros las de ciervos exóticos como una forma de turismo cinegético (arte de la caza). Se estima que llegaban a la Argentina 20.000 turistas extranjeros al año para esta actividad. El suelo en el norte de Córdoba recibía al año 600 toneladas de plomo proveniente de la caza de palomas con escopetas. Para contener la contaminación por plomo se prohibió la caza en zonas húmedas (2014). La provincia de Santa Fe limitó a 50 palomas el máximo por cazador si usa municiones de plomo y sin límites si usa municiones alternativas. Se cazan millones de palomas al año por ser consideradas plaga y quedan toneladas de plomo en el suelo.

Junto con la caza deportiva se encuentran las colecciones privadas. Por ejemplo, los cactus son componentes claves de los ecosistemas áridos. Proporcionan agua y alimento mediante los frutos para especies que le retribuyen con la dispersión de semillas, en tanto las

flores entregan néctar para los colibríes, murciélagos e insectos, que retribuyen con la polinización. En un estudio se evaluaron las 1.478 especies de cactus conocidas y se encontró que un tercio está en riesgo de extinción. El principal peligro es el coleccionismo de plantas vivas y semillas que afecta al 47% de los cactus amenazados. La ganadería de los pequeños agricultores afecta al 31% de las especies. El 86% de los cactus amenazados que se usan en horticultura se extraen de las poblaciones silvestres. El CITES (*Convention International Trade Endangered Species*) pudo reducir el nivel de amenaza sobre muchas especies ya que protege de la sobreexplotación en el comercio internacional a 5.600 animales (incluye 1.450 especies de aves de las 10.000 existentes) y 30.000 plantas. Las zonas de mayor peligro para los cactus son el Perú, Río Grande do Sul (Brasil) y en el norte de Artigas (Uruguay).

Derechos de los animales. Sean los animales para consumo como la domesticación, se llevan milenios generando problemas éticos (las normas de conducta de una sociedad) o morales (las normas de conducta de una persona). Puede ser ético comer carne en una sociedad occidental, pero para un vegano es inmoral hacerlo. Tres rubros ponen en evidencia los problemas éticos con los animales: (1) la convivencia con animales domésticos (p.e. mascotas, zoológicos, caballos de carrera o tiro, perros entrenados para actividades humanas); (2) la captura o producción para la alimentación (caza, pesca, ganadería) y (3) el uso de animales para investigaciones científicas (médicas, cosmética). Un paso más allá están los derechos del resto de los seres vivos y de la naturaleza (incluyendo lo no viviente).

Las libertades reconocidas a los animales domesticados son: libres de sed y hambre; libres de incomodidad; libres de dolor, lesiones y enfermedades; libres para expresar su conducta normal; y libres de miedo y angustia. Los derechos de los animales son materia de estudio en las facultades de leyes debido a lo habitual de los conflictos: custodia de animales por divorcios; discriminación por tenencia de mascotas en edificios; responsabilidad extendida del dueño; heridas producidas a terceros; abandono en la calle; mala praxis veterinaria; animales en cautiverio para espectáculos; el status de animales en zoológicos; crueldad y stress en animales de producción ganadera; caza furtiva para comercialización; la producción de animales transgénicos para provecho humano; sacrificio de animales para la investigación científica, etc. En el 2014 en la Argentina se otorgó el primer status de "sujeto no humano" en el mundo. Se trata de la orangutana del Zoo de Buenos Aires, la cual debía ser liberada del cautiverio. Un año después no se había encontrado una solución al problema.

A quienes se oponen a la igualdad de derechos con los animales se los llama "especistas". Dicen asignar derechos diferentes a las especies y mencionan que "aquellos que no reconocen diferencias entre especies, difícilmente entiendan sus propias obligaciones". Los especistas admiten el derecho de propiedad. Es una postura antropocéntrica y los opositores los asimilan al racismo. Los argumentos en contra basculan entre dos extremos: el de garantizar el bienestar animal y el trato "humano" y el argumento abolicionista que pide poner fin a la explotación animal. El primer extremo estaría dispuesto a violar un derecho animal si se produce más utilidad que perjuicio (argumento utilitarista).

Las mascotas. Un caso especial son los animales domesticados como mascotas. Son una compañía personal y no se los cuida para obtener un provecho económico. Son adaptables a las costumbres y el

comportamiento es terapéutico. El problema surge cuando se pierde esa conexión y terminan abandonados; cuando el animal resulta agresivo con otros animales y cuando propagan enfermedades. En Estados Unidos se estima que 200 millones de animales al año ingresan al país. Entre 2000-2006 fueron cerca de 2.200 especies no nativas y son culpables del 75% de los brotes de enfermedades emergentes. Por ejemplo, en el 2003 el brote de viruela de simio llevado desde África por roedores; el virus del Nilo Occidental de 1999; o la viruela y sífilis de los años 1500.

Los gatos domésticos (*Felis silvestris catus*) son considerados el mayor problema para las aves, sea por muertes directas o por reducción de la reproducción debido al stress. En Estados Unidos se estimó en el 2013 una población superior a 100 millones de gatos y con una tasa de caza de 1.400 a 3.700 millones de aves y 15.000 millones de mamíferos al año. Se considera que los gatos son responsables de la extinción de al menos 33 especies en el mundo (en pequeñas islas sobre especies endémicas). Además, los gatos domésticos propagan el parásito *Toxoplasma gondii*. Solo se reproduce en los gatos, se propaga por las heces y ataca también a los animales silvestres. La mayor organización mundial que defiende los derechos de los animales es Peta (*People of the Ethical Treatment of Animals*) con 2 millones de adherentes en todo el mundo. Existe cierta oposición entre la defensa de los derechos de los animales y la conservación de la vida silvestre. Por ejemplo, ¿Qué debe hacerse con las jaurías de perros salvajes que atacan la vida silvestre?

Experimentación con animales. La investigación científica se ganó un puesto en las disputas de la opinión pública. Galeno (siglo II dC) es considerado el padre de vivisección, principalmente de cerdos y cabras. Pero hoy día, se calcula que cerca de 100 millones de vertebrados son usados al año para la docencia, industria e investigación científica. En 1822 se promulgó en Inglaterra la primera ley contra la crueldad hacia los animales y hace poco, Israel prohibió el uso en el ámbito educativo.

La industria farmacéutica dice que los avances serían imposibles sin esta forma de experimentar. Pasteur probó la teoría de los gérmenes inoculando con ántrax a 50 ovejas. Para desarrollar la vacuna contra la poliomielitis se sacrificaron 100.000 monos que produjeron 65 dosis cada uno. En 1974 se produjo el primer mamífero transgénico (un ratón con el virus SV40) y en 1996 el primero clonado (la oveja Dolly). La industria dice cumplir con los principios de reemplazo (sustituir animales por modelos informáticos o cultivos celulares); reducción (disminuir el número de animales usados y hacerlo solo cuando no hay alternativas) y refinamiento (buscar métodos para contener el sufrimiento animal).

Una objeción original decía que al no ser humanos, las pruebas sobre animales entregaban resultados inválidos. Se acusaba a la investigación con animales de considerarlos un laboratorio en miniatura, sin los problemas éticos de experimentar con humanos. Hoy, los objetores aducen argumentos basados en los conocimientos sobre el stress y dolor que sienten los vertebrados. Se critica que en las pruebas se los obliga a consumir drogas, alcohol, tabaco, venenos; se los somete a stress, quemaduras, radiación, armas químicas, clonación. Entre lo más criticado está la prueba LD50 (Dosis Letal 50%), que consiste en averiguar cuál es la dosis que resulta letal para el 50% de los animales bajo experimentación. En Europa se calculó que el 60% de animales

usados en pruebas de laboratorio son para la industria cosmética e higiene, el 30% se sacrifican para pruebas militares y solo el 10% se usan en pruebas de sanidad. En el 2009 la Unión Europea prohibió el uso de animales para pruebas de productos cosméticos.

En el 2015 se conoció el caso de 66 chimpancés que viven en seis islotes en el sur de Liberia. Fueron usados para experimentar con virus por el NYBC (Centro de Sangre de Nueva York) desde 1974. El NYBC, que suministra sangre a alrededor de 200 hospitales de Estados Unidos, comenzó a atrapar chimpancés salvajes e infectarlos con enfermedades como la hepatitis para desarrollar vacunas. En el 2005 se detuvo la investigación y desde ese momento solo se prestó atención de vida a la población de chimpancés ya que se volvieron dependientes de los humanos para la alimentación y vivienda. Los chimpancés se abrazan a los voluntarios cuando llegan en barco a la isla para darles de comer. La zona tiene poca comida natural y están rodeados de agua salada no potable. Estos animales no pueden ser devueltos a su hábitat natural, ya que han estado expuestos a diversas enfermedades y también son totalmente dependientes de los humanos, ya que fueron capturados cuando eran bebés y otros nacieron en cautiverio.

Ética de los seres vivos. Las diferencias entre especies motivan muchas preguntas formuladas para la reflexión. ¿Cómo admistrar los derechos de los animales?, o más general, ¿Cómo debería ser la "ética de los seres vivos" (ESV) que contemple la relación del hombre con toda la vida en su conjunto? Las investigaciones modernas atribuyen a los animales vertebrados la capacidad de sentir dolor, conciencia y cultura, en diferente grado dependiendo de la especie. ¿Serán estos aspectos una alternativa para modular (jerarquizar) los derechos o la ESV? Existen evidencias de cultura en los mamíferos y las aves y de dolor en todos los órdenes de vertebrados. ¿Estarán los invertebrados y las plantas carentes de derechos? Los defensores reclaman para los animales superiores el derecho a la vida, seguridad, estar libre de torturas y esclavitud. Para algunos, el hecho de tener vida es un atributo suficiente para hacerlos susceptibles de derechos y no es necesario tener conciencia. Otros señalan que no puede considerarse a los animales una propiedad privada o de uso ("la caza del ciervo sería un gran deporte si los ciervos tuviesen armas de fuego"). Incluso, están quienes dicen que se debe abolir la protección de los animales porque está basada en el "derecho de propiedad" que es inexistente.

La caza puede ser moralmente rechazada aunque los Parques Nacionales otorguen permisos y cuotas de caza por temporada para ciertas especies. El estado autoriza la caza de especies exóticas (ciervos y truchas) y nativas (patos), lo cual indica que una decisión del estado no garantiza un standard mínimo de ética. En el 2012, mientras el autor estudiaba la conducta de los patos Sirirí Pampa (*Dendrocygna viduata*), se abrió la temporada de caza de esta especie. Puede entenderse el grado de decepción ante la posibilidad de matar a un animal que no es plaga y no produce daño. Solo en Estados Unidos se cazan 12,5 millones de animales al año. El uso de perros adiestrados para detectar drogas asume que a esos animales se los convirtió en adictos para cumplir alguna función útil. Hay muchas preguntas que invitan a la reflexión: ¿Es razonable cuidar animales enfermos convirtiendo los recintos veterinarios en geriátricos? ¿Es posible cuidar a todas las palomas enfermas en una ciudad como intentan los niños? ¿Qué nos diría la ESV respecto a la relación con las especies exóticas en la vida natural, deben ser exterminadas o protegidas? ¿Qué diría sobre la relación con las especies consideradas plagas? ¿Cuál es la conexión entre

la ESV y la Ética del Cambio Climático? Teniendo en cuenta el valor de los ecosistemas y los servicios que prestan: ¿es posible ignorar a los insectos, plantas y microorganismos en la ESV? ¿Son los ríos y humedales pasibles de derechos?

Los insectos tienen sistema nervioso, por lo tanto son sintientes, y las plantas reaccionan a muchos insentivos (luz, gravedad, moléculas químicas). Los girasoles tienen una "conducta fototrópica" y las plantas carnívoras una "conducta de caza"... ¿se los puede ignorar?. Como todos los seres vivos están bajo la Selección Natural, parecería razonable plantear el siguiente principio: "todo ser vivo tienen derecho a la selección natural". Se debería garantizar entonces el derecho a vivir libre de decidir (no estar encerrado); de comer y ser comido (mantener la cadena trófica); de enfermar y morir (no intentar ser salvado); de evolucionar en forma natural (no someterse a evolución artificial o dirigida), de estar libre del riesgo de extinción por razones antropogénicas. Para la vida silvestre sería recurrir al "Principio de no intervención" (contrario al control letal). Pero con los animales domesticados resulta imposible, incluso estarían en inferioridad de condiciones si se los libera a la vida silvestre. Así se llega a excepciones y diferencias entre seres vivos por su status (domésticos, de producción o salvajes) o por especies (mamíferos, aves, insectos, plantas, unicelulares).

La preocupación actual son los vertebrados superiores, porque hoy "se pueden matar tantas moscas como se quiera". Es interesante meditar en la capacidad de los humanos para afectar la población de primates superiores en comparación con los insectos. ¿Qué capacidad de fuego tiene el hombre para alterar a los microorganismos? Los insecticidas dejan de tener efecto cuando general organismos resistentes. ¿Dónde está el límite de las especies que tendrán derechos? ¿Se debe proteger un individuo o una población; se debe proteger un espacio o el ecosistema en su conjunto?

"Derechos de la naturaleza". En 2008, Ecuador se convirtió en el primer país del mundo en reconocer los derechos legales de sus montañas, ríos y la tierra. La constitución permite a las personas demandar en nombre de un ecosistema para contener el daño. En 2011 se presentó la primera demanda que recayó en contra del Gobierno Provincial de Loja, en nombre del río Vilcabamba. El gobierno local permitió la construcción de una carretera lindante al río que obligaba a rellenarlo con escombros causando inundaciones que afectaron a las comunidades lindantes. Como resultado de los "derechos de la naturaleza" de la Constitución se falló a favor del río y el municipio se vio obligado a detener el proyecto y rehabilitar la zona. En el 2012, y luego de 100 años de peticiones legales de la comunidad de Iwi (un grupo tribal Maourí), en Nueva Zelanda se garantizó el status legal de persona al río Whanganui. De esta forma el río pasó a tener los mismos derechos que una persona o una empresa, debido a los aportes físicos y espirituales (servicios ecosistémicos) a las personas que habitan en la zona. Los derechos de la naturaleza se oponen al tratamiento antropocéntrico donde la naturaleza se considera una propiedad (privada o estatal). De esta forma, se garantiza el derecho a persistir y regenerar los ciclos naturales.

En el 2012, Bolivia introducía este derecho mediante la Ley de la Pachamama, pero en el 2015 una ley autorizó las operaciones de hidrocarburos en áreas protegidas. Así, el PN Madidi que alberga 11% de las especies de aves del mundo, tiene el 75% de sus 1,8 Mha concesionadas para petróleo y gas. Esto se suma a los agricultores de coca, los buscadores de oro y el proyecto de una represa hidroeléctrica (El

Bala). El PN Inao y Naim tienen un 90% del territorio solapado por concesiones a Total y Gazprom. La Reserva de la Biosfera Pilón Lajas y el Territorio Indígena tienen más del 85% cubierto por Petrobras y Repsol. El argumento a favor de esta ley es que las operaciones de explotación reducirán la pobreza y contribuirán al desarrollo, pero para quienes se oponen, la ley va en contra de los derechos de la pachamama y de los pueblos indígenas.

En suma, existe una competencia y convivencia entre los derechos de los humanos, de los seres vivos y de la naturaleza. Por ejemplo, el ser humano tiene derecho a "generar energía" y "producir alimentos" (los animales toman la energía y alimentos del ambiente). Pero, este derecho no puede hacerse a costa de los seres vivos y la naturaleza. La generación de energía no puede destruir el ambiente que utilizan los seres vivos o intervenir en forma destructiva en la naturaleza. La convivencia de estos aspectos es materia de conflictos presentes y futuros.

¿Qué hacer? (i): Los acuerdos internacionales

Los indicadores analizados hasta aquí nos cuentan una historia de degradación acelerada. Las consecuencias se pueden observar sobre el clima, los océanos, la biodiversidad, etc. Y aún falta considerar los efectos de las fuentes energéticas, la producción de alimentos y las ciudades. Los últimos ítems de esta sección se dedican a observar de qué forma se puede actuar para reducir las pérdidas que se ocasionan y volver a una huella ecológica de "un planeta".

Se distinguen varios niveles de acción. El primero son los tratados entre naciones, donde varios países toman compromisos para lograr ciertos objetivos. El nivel gubernamental puede hacer aportes desde organismos como Parques Nacionales (conservación) o el INTA (agricultura). Otro nivel para actuar son las organizaciones sin fines de lucro, en general descritas como ecologistas o ambientalistas. Tienen un carácter nacional o internacional, y son independientes de los gobiernos. Un nivel más personal involucra acciones como la creación de Reservas Privadas, el ecoturismo, las granjas ecológicas, y sitios web de divulgación y concientización. Finalmente, las ciencias pueden hacer su aporte mediante el estudio del ambiente y clima, la economía, la conducta y ética.

A continuación se identifican 3 modelos diferentes de tratados internacionales: declarativo, obligatorio y de adhesión.

La Carta de la Tierra. Es una declaración internacional de visiones y principios para un comportamiento sustentable y solidario. Fue lanzada en el 2000 dentro de las Naciones Unidas. No es una lista detallada de obligaciones, controles o auditorías. Es orientadora, mostrando finalidades, propuestas, "sueños", objetivos comunes a toda la humanidad. Es útil para estimar en qué medida las decisiones están orientadas con esa responsabilidad común. Es un mínimo común denominador válido para todos, un mínimo de propuestas y aspiraciones asumidas por diversas culturas, etnias, religiones y países. La ecología es un pilar fundamental de la Carta y muestra un concepto más amplio y sincero de lo habitual. El texto se mueve en un nivel de principios, derechos y deberes generales, tendiente a un consenso lo más amplio posible. Los principios, resumidos, son los siguientes:

(1) Respeto y cuidado de la Tierra y la vida en toda su diversidad. Construir sociedades democráticas, justas, participativas, sustentables y pacíficas. Asegurar que los frutos y belleza de la Tierra se preserven para las generaciones presentes y futuras.

(2) Integridad ecológica. Proteger y restaurar los sistemas ecológicos, la diversidad biológica y los procesos naturales. Evitar dañar y,

cuando el conocimiento sea limitado, proceder con precaución. Adoptar patrones de producción, consumo y reproducción que salvaguarden las capacidades regenerativas de la Tierra, los derechos humanos y el bienestar comunitario.

(3) Justicia social y económica. Erradicar la pobreza como un imperativo ético, social y ambiental. Promover el desarrollo humano de forma equitativa y sustentable. Afirmar la igualdad y equidad de género, y el acceso universal a la educación, salud y oportunidades económicas. Defender el derecho de todos, sin discriminación, con especial atención a los pueblos indígenas y las minorías.

(4) Democracia, no violencia y paz. Fortalecer las instituciones democráticas y brindar transparencia y rendición de cuentas. Integrar en la educación formal y en el aprendizaje, las habilidades, el conocimiento y los valores. Tratar a todos los seres vivos con respeto y consideración.

Se escucharon algunas críticas a la Carta de la Tierra. Se dijo que se queda en posiciones genéricas, y debería ser más precisa en propuestas y medios a emplear. Otros recelan que sea lesiva para la libertad personal. Por primera vez, en un documento civil internacional, se reconoce la importancia de la dimensión espiritual de la vida. Pero, quedaron en el debate las discriminaciones por motivos de género o de orientación sexual.

El Protocolo de Kioto. Mientras la Carta de la Tierra es un documento de principios, el Protocolo de Kioto es un acuerdo con metas numéricas. Está dentro del Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático que tiene por objetivo reducir las emisiones de los gases GEI que causan el calentamiento global. El Convenio tiene origen en la Cumbre de la Tierra (Río de Janeiro-1992) y fue adoptado en Kioto (Japón-1997), pero entró en vigor en el 2005. El primer objetivo fue reducir el 5% la emisión de GEI en el período 2008-2012, en comparación con las emisiones de 1990. Cada país está obligado a sus propios porcentajes de reducción. En 2009, había 187 estados que ratificaron el protocolo. Pero, Estados Unidos, el mayor emisor de GEI, no había confirmado el protocolo. ¿Por qué? El protocolo prevé que no tengan porcentaje de reducción los países altamente contaminantes como China e India, debido a que no son desarrollados. Tampoco Rusia fue alcanzada por los recortes debido a la fuerte caída de las emisiones cuando se desmembró la URSS (40% en 5 años). En cambio, Estados Unidos se comprometía a reducirlos el 36% y Europa en promedio el 24%. Esto no fue aceptado por el Congreso de Estados Unidos, aunque adoptó sus propios objetivos de reducción. En el 2014, Estados Unidos y China acordaron un objetivo de reducción en forma bilateral.

En Cancún (México-2010) se decidió aplazar el segundo período (2012-2020) de vigencia de Kioto y aumentar la "ambición" de los recortes. Se decidió crear un Fondo Verde Climático y proporcionar 30.000 Mus\$ de financiación rápida para atender las necesidades de

los países en desarrollo. Esa "hoja de ruta" se complementa con el Plan de Acción de Bali, que identifica cuatro elementos claves: mitigación, adaptación, finanzas y tecnología. La canalización del financiamiento y la tecnología de apoyo a países en desarrollo tuvieron avan-

Descripción del límite	valor actual	valor del límite
cambio climático		
aumento CO2 atmosférico	400 ppm	350-450 ppm
energía en la atmósfera	2,3 W/m2	1-1,5 W/m2
integridad de biósfera		
extinciones por año	100-1000 /millón especies	<10 /millón especies
agotamiento del ozono	200 Dobson Antártida	290 Dobson
acidificación de los océanos	84% saturación	>80%
ciclos biogeoquímicos		
aumento de nitrógeno	22 Mt/año	11 Mt/año
aumento de fósforo	150 Mt/año	62 Mt/año
uso del suelo, pérdida forestal	38%	25-46%
uso agua dulce	2600 km3/año	4000-6000 km3/año
aerosoles atmosféricos	¿?	¿?

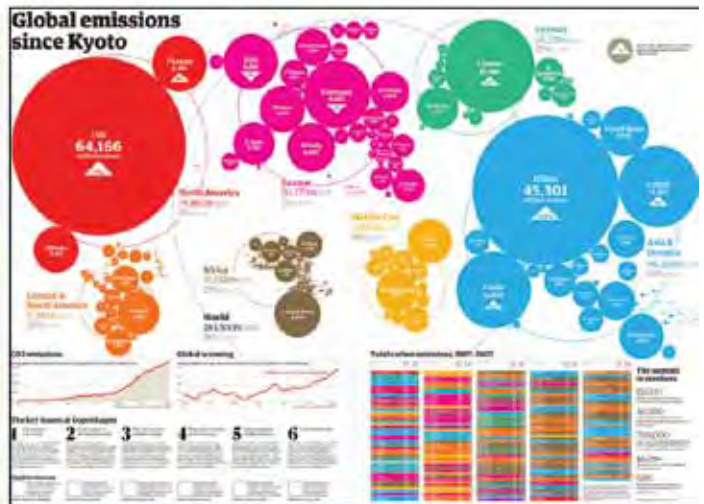


THE EARTH CHARTER

PRINCIPLES

Earth Charter Initiative

Sustainability



1411. Acuerdos para contener los límites planetarios. Se entiende como límites planetarios a un conjunto de indicadores, que de superarse, ponen en riesgo un "espacio humano seguro y justo". La cantidad de indicadores para conocer el estado del planeta va en aumento. Por ejemplo (arriba), el nivel de CO₂ en la atmósfera se encuentra en 400 ppm en el 2015; el valor preindustrial (1750) era de 270 ppm y el límite planetario está entre 350-450 ppm. Las acciones gubernamentales para sostener los límites planetarios son de diferentes tipos. La Carta de la Tierra es una declaración de principios sin obligatoriedad de cumplimiento (centro-izquierda). El Protocolo de Kioto es el origen de una serie de reuniones internacionales con objetivos por cada nación tendientes a mitigar los efectos del calentamiento global (derecha). El Acuerdo de Ramsar es de adhesión voluntaria para la protección de humedales. La cantidad de sitios Ramsar de Centroamérica contrasta con el sur del continente (abajo).

ces importantes. Los países desarrollados reiteraron su compromiso de continuar el financiamiento a largo plazo. Se iniciaron diálogos sobre el mecanismo que permita el reconocimiento financiero a países víctimas de desastres climáticos significativos. Incluyendo un programa para educación sobre el cambio climático para crear conciencia pública en la toma de decisiones.

En 2013 la COP-19 (Conferencia de las Partes para el Cambio Climático) en Varsovia, dejó dudas sobre la voluntad de aporte de los países ricos. Estas dudas surgen de la referencia a dificultades presupuestarias debidas a la crisis económica de los países desarrollados. El peso del cambio climático recae sobre países que se desarrollan en zonas vulnerables a inundaciones, sequías y temperaturas extremas (sudeste de Asia). El Banco Mundial informó que el impacto de los desastres naturales fue del 1% del PBI en estos países y que es 10 veces más que en los países desarrollados. En 2014, la conferencia COP-20 en Lima, siguió un camino ambiguo y para muchos insuficiente.

Muchas esperanzas se pusieron en la conferencia de París del 2015. Para este momento se evidenció la alteración de algunas promesas. Similar al caso Volkswagen, que instaló un software para manipular las emisiones de óxidos de nitrógeno en automóviles diesel, la Argentina retocó estadísticas en el Indec (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) afectando el grado de cumplimiento de objetivos ambientales. De acuerdo con los datos oficiales, el país cumplió las metas de contaminación usando como referencia el PBI del Indec. Desde el 2007, cuando se inició el retoque de las estadísticas, las curvas del PBI y las emisiones GEI se desacoplaron. La falsificación del PBI muestra mayor actividad económica y menor contaminación. En 1999 se fijó una meta ambiental relacionada con el crecimiento del PBI, reduciendo las emisiones en 2008-2012 un 10% con respecto al PBI esperado (+3,6% promedio anual). Como objetivo para el 2030 (París, 2015) se propuso una meta de reducción de 15% de las emisiones GEI, pero no en función del PBI sino respecto de lo que hubiesen sido si no se adoptara ninguna política respecto del clima (meta *business as usual*, "lo mismo de siempre"). El objetivo del 15% es considerado muy bajo, tanto en forma absoluta como y relativa a los países vecinos. Con el agravante que la reducción se planea mediante represas hidroeléctricas en Santa Cruz y centrales nucleares adicionales. Casi nada se hizo en energías renovables (eólica y solar) aunque por Ley 26.190 debía llegarse al 8% en el 2016 y ahora otra ley obliga al 8-12% para el 2030, lo que incluye

la ley anterior. Cada argentino emite 10 tCO₂/año, lo que ubica a la Argentina en 0,88% del total global.

En el 2015, un tribunal en Holanda ordenó al Estado reducir las emisiones de gases GEI un 25% en el 2020, respecto a 1990. El reclamo fue originado por la ONG Urgenda que defiende el ambiente y fue el primero de este tipo. El segundo caso fue en Pakistán, donde un agricultor recurrió al tribunal debido a la pasividad del gobierno ante el cambio climático. Argumentó que se violaban sus "derechos fundamentales" por las inundaciones provocadas en parte por el deshielo de los glaciares del Himalaya. El aumento de las temperaturas incrementa los riesgos de sequías y la intensidad de las precipitaciones durante el monzón, que será más corto. Esto pone en peligro la producción agrícola en un país en el que la mitad de la población depende de este sector para subsistir.

Convenio de Ramsar. A diferencia de la Carta de la Tierra y el Protocolo de Kioto, el Convenio de Ramsar (Irán-1971) es un acuerdo marco sobre el cual los países adhieren voluntariamente para generar áreas de conservación en los humedales. En el 2014, el Convenio de Ramsar tenía 168 estados miembros, protegiendo 2.186 humedales, con una superficie de 208 Mha. Cada tres años los países miembros se reúnen para evaluar los progresos y compartir conocimientos y experiencias. El país con mayor número de sitios era Inglaterra (169); el que mayor superficie tenía era Bolivia (14,8 Mha). La Argentina tenía 21 sitios Ramsar con 5,4 Mha en total.

La filosofía de Ramsar indica que el hábitat debe tener un uso racional, manteniendo las características ecológicas con enfoques por ecosistemas y dentro de un desarrollo sustentable. Ramsar tiene una definición amplia de humedales; incluidos pantanos y marismas, lagos y ríos, pastizales húmedos y turberas, oasis, estuarios, deltas y bajos de marea, zonas marinas próximas a las costas, manglares y arrecifes de coral, así como sitios artificiales como estanques piscícolas, arrozales, embalses y salinas.

Como complemento de Ramsar, desde Aves Argentinas se identificaron las AICA (Áreas Importantes para Conservación de Aves). Aves Argentinas está federada en Birdlife International, quien denomina IBA (*Important Biodiversity Areas*) a estas áreas a nivel internacional. Se inventariaron 270 sitios en la Argentina (cerca de 12.000 a nivel global), de los cuales el 52% no están protegidos (40% a nivel global).

¿Qué hacer? (ii): Las organizaciones ecologistas

El término ecologismo es vago e impreciso; con límites difusos; algunos lo consideran un término errado y otros utilizan conceptos que se superponen. En lo que sigue se presenta una clasificación con el propósito de ordenar todos los conceptos en juego. El primer paso dicotómico opone el ecologismo con el industrialismo. Lo industrial (artificial y tecnológico) opuesto a lo natural (ecológico); así como lo urbano (obrero e industria) se opone a lo rural (campesino y agricultura).

(1) El industrialismo. La Revolución Industrial (desde 1765-85 con la máquina a vapor y textil de hilar) se compara con el nacimiento de la agricultura (hace 10.000 años). El industrialismo transformó toda la

sociedad detrás de las formas de producción y organización del trabajo. Pueden existir diferencias de criterios en cómo distribuir las ganancias (prioritarismo, utilitarismo, liberalismo, desarrollismo, socialismo), pero siempre se coincide en que el crecimiento puede ser ilimitado. Se sustenta en el optimismo científico-tecnológico que atribuye a las nuevas tecnologías (nanotecnología, biotecnología, energías renovables) el poder de aumentar la productividad y eficiencia. En forma recurrente, la industria niega los peligros ambientales, en caso de aceptarlos no se los atribuye a la acción humana, y de hacerlo confía en la tecnología para corregirlo. En este último punto se solapa con la sostenibilidad, que es una versión débil del ecologismo o "verde" del industrialismo.

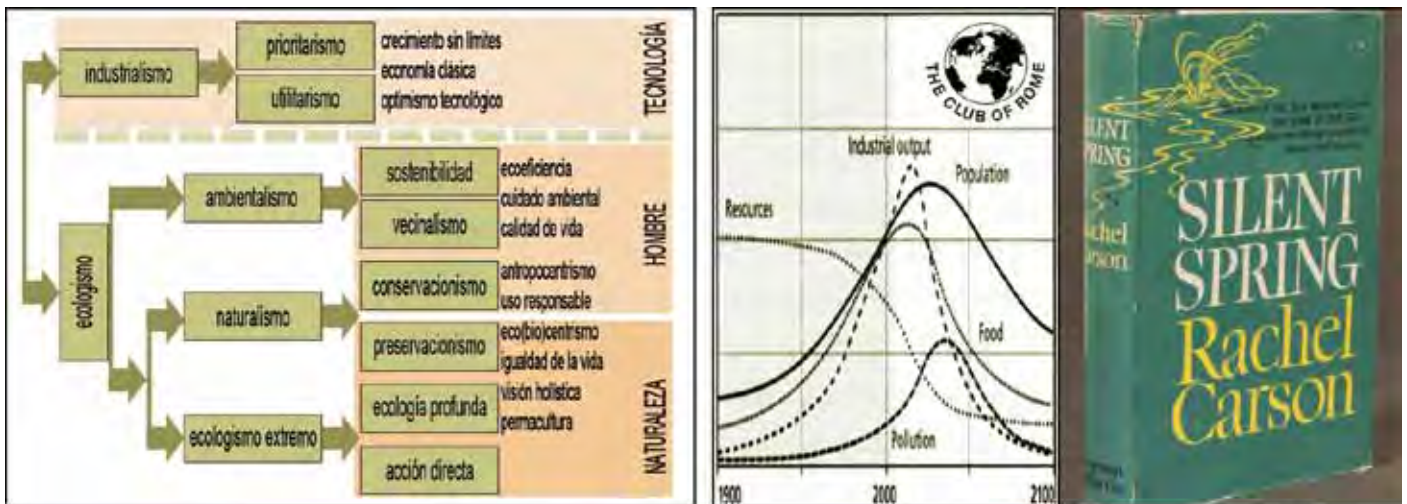
(2) Los ecologismos. Dentro de la sociedad globalizada es una corriente minoritaria, en crecimiento y muy dispersa en objetivos. Es mirada con afecto y recelo por el resto de la sociedad, en parte por la pluralidad de intereses y formas de encarar las soluciones. La segunda mitad del siglo XX fue la época de diversificación de estos movimientos que, manteniendo cierta identidad (defensa de la naturaleza), pueden tener posturas casi irreconciliables (energía nuclear, transgénicos, forma de protección de la vida). La pluralidad surge porque existen 3 raíces diferentes: la reducción de la contaminación y mejora de la calidad de vida; la conservación de los recursos naturales y la preservación de la vida silvestre.

El origen moderno del ecologismo se dio en las décadas '60-'70. Dos íconos son los libros "Primavera silenciosa" de Rachel Carson (editado en 1962) y "Los límites del crecimiento" del Club de Roma (redactado por el MIT-1972). Los ecologistas se relacionan e involucran con otros movimientos sociales: los pacifistas y antinucleares; los que defienden derechos humanos, de las minorías o de los nimalés; partidos políticos como el anarquismo y socialismo; movimientos de alimentación natural, vegetarianos y veganos; asociaciones vecinales por luchas específicas; reservas naturales privadas; etc.

La relación entre los movimientos ecologistas y la ciencia es ambigua. En algunos casos coinciden (calentamiento global, pérdida de ecosistemas) y en otros divergen (transgénicos, energía nuclear, bio-combustibles). Pero, la ciencia no es monolítica, y aunque se guía por reglas verificables, los intereses industriales y políticos manipulan los resultados. Los "consensos" son valores estadísticos entre las opiniones de científicos (p.e., conclusiones del IPCC).

La segmentación del movimiento ecologista se puede realizar de acuerdo con la relación que mantienen con la tecnología (industria), el hombre (cultura) y la naturaleza (vida silvestre y recursos naturales).

(3) El ambientalismo. Es una corriente de pensamiento amplia, que incluye las áreas naturales y culturales humanas. Es optimista y apuesta por la ecoeficiencia y la sustentabilidad como herramientas para el crecimiento. Ambos aspectos han sido puestos en duda por las corrientes más duras del ecologismo. Algunas organizaciones ambientalistas defienden el espacio propio ("en mi patio trasero, no"). Son comunidades locales que luchan contra la contaminación en busca de una mejor calidad de vida. Tal el caso de "nuclear, no gracias". Esta lucha puede ser egocéntrica, ya que rechaza lo que se genera. Se



1421. Los ecologismos. Las distintas organizaciones ecologistas forman una extensa gama de movimientos. Una forma de ordenamiento es comprender la relación con el resto de la comunidad y la naturaleza. El ordenamiento presentado (arriba-izquierda) las ubica en su relación con la tecnología, el hombre y la naturaleza. El punto de origen del ecologismo moderno se puede ubicar en los años 60-70 con el libro "La primavera silenciosa" y el informe del "Club de Roma" (derecha). Las organizaciones más conocidas son WWF y Greenpeace (abajo). La WWF es una organización propositiva y antropocentrista; en cambio Greenpeace una versión contestataria y de acción directa moderada.

dice “no queremos ser el basurero”, pero a la vez se genera basura, con lo cual el problema se traslada a otro lugar. A nivel global se encuentran los “eco-activistas” (Greenpeace, con origen antinuclear) que se identifican mediante campañas públicas para lograr los objetivos. Todos son antropocéntricos, donde el hombre está por encima de la naturaleza.

(4) La sostenibilidad. El tecnocratismo (desde inicios del siglo XX) sostenía que los políticos y empresarios no podían administrar el sistema mundial y que debía ser delegado a los científicos e ingenieros. Para ellos la energía era el factor crítico para el desarrollo económico y social. Los aspectos sociales podrían ser medidos en términos físicos (promedio de kilocalorías por habitante y por día). El dinero podría sustituirse por certificados de energía. Los tecnócratas perdieron influencia al inicio de la II Guerra Mundial.

La sustentabilidad es una línea activa y difusa, en su interior tiene el mismo germen de la ecoeficiencia y de confianza en la ciencia. El concepto de sustentabilidad se introduce en 1987 en el documento “Nuestro futuro común” de las Naciones Unidas. El desarrollo sustentable implica pasar de un desarrollo cuantitativo a uno cualitativo donde se establecen vínculos entre los aspectos económicos, sociales y ambientales. El desarrollo no puede ser sustentable si no se garantiza la sustentabilidad de cada uno de estos aspectos (Cumbre Mundial del 2005). La industria utiliza la sustentabilidad como una forma de “limpieza de conciencia” y adopta la herramienta de RSE (Responsabilidad Social Empresaria). Es la visión “políticamente correcta”, ya que tranquiliza al mostrar que se cuida el ambiente y alienta a continuar el crecimiento.

El caso: “La paradoja de la eficiencia”. El aumento de la eficiencia en el uso de la energía es un pilar de muchos movimientos ecologistas blandos. Para los ecologistas duros no es la solución y se referencian en la Paradoja de Jevons (William Jevons-1865 del libro “La cuestión del carbón”). Allí se documenta que el consumo de carbón se elevó cuando James Watt introdujo mejoras en la máquina de vapor a carbón. Antes de Watt las máquinas a vapor debían detenerse por sobre calentamiento. Las mejoras de Watt permitieron usarlas todo el día. La mejora de la eficiencia, aumentó la cantidad de máquinas instaladas y el consumo total de carbón. La paradoja dice: aumentar la eficiencia disminuye el consumo instantáneo, pero incrementa el uso del modelo, lo que provoca un incremento del consumo total. En otras palabras: hay una disminución del impacto y contaminación por unidad, que se anula por el aumento del total de unidades consumidas.

Como elemento comparativo se puede usar la energía anual completa invertida por un país y el valor de PBI (Producto Bruto Interno) obtenido. Los países más desarrollados son los más eficientes en el uso de la energía (producen un mayor PBI por cada unidad de energía), pero sin embargo, son los mayores consumidores de energía y emisores de CO₂. Lo que está en línea con la paradoja de Jevons. Por ejemplo, el informe de Productividad Energética del 2015 (*The Lisbon Council*) calculó cuánto PBI se puede producir por unidad de energía. En América latina los países más eficientes son Colombia y Perú con 1,2 us\$ de PBI por cada 1 kWh invertido. El promedio global era de 0,55 us\$/kWh (160 billones de dólares por cada exajoule de energía). Pero cuando se mira la mejora a largo plazo de estos valores se tiene un incremento de la eficiencia a nivel global del 1,32 %/año en el período 2001-2011. Colombia en el mismo período mejoró el 2 %/año.

Un punto que alarma es el rendimiento final de la energía usada. De la energía potencial puesta como gasolina en el tanque de un automóvil solo el 6% se transforma en movimiento y además solo el 30% del vehículo es carga útil. De la cadena petróleo-diesel-electricidad-iluminación solo el 4% de los hidrocarburos se transforma en iluminación en nuestros hogares. En 1905 la eficiencia global se estimó que era del 3%, es decir el 97% de toda la energía se perdía. Para 1980 se estimó que era el 13% en Estados Unidos y el 22% en Japón. Sin embargo, estos valores suelen tener muchas objeciones ya que se debe considerar la energía efectivamente útil y no aquellas intermedias.

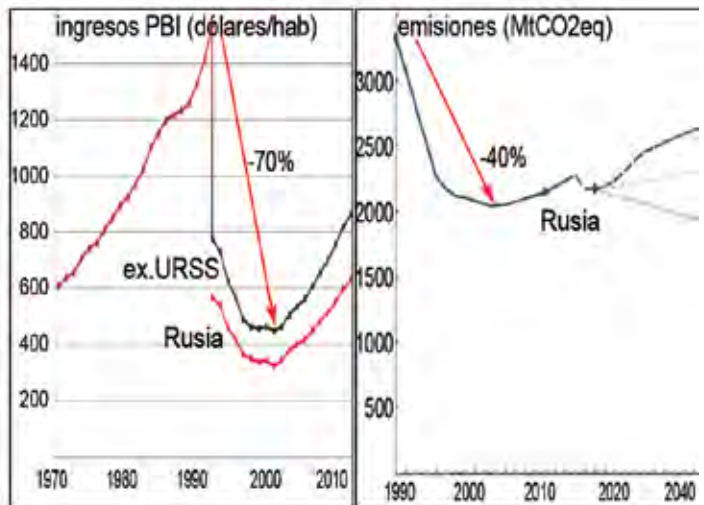
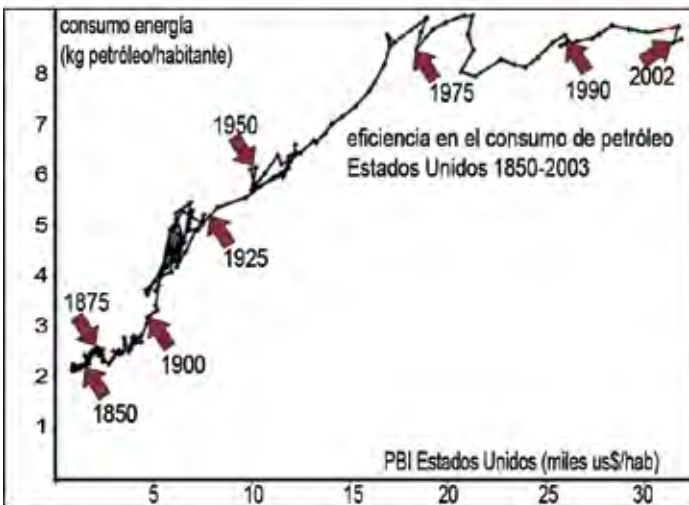
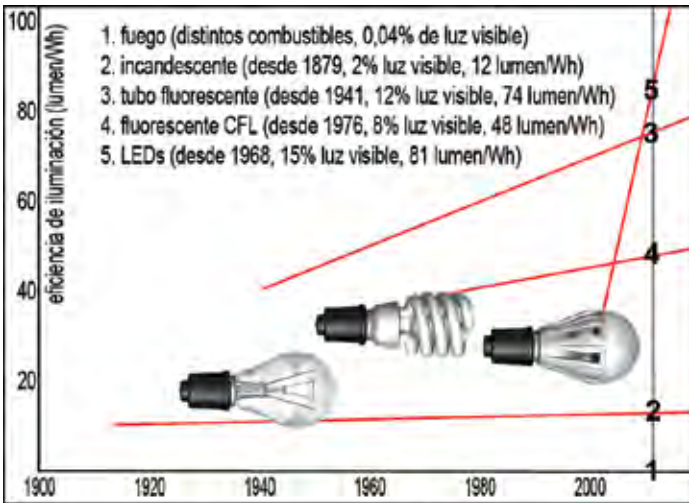
Entonces, ¿es sustentable el crecimiento? Hay muchos argumentos para considerar una respuesta negativa. Desde un punto de vista termodinámico, estamos consumiendo insumos de baja entropía acumulados en el planeta (tierras raras, minerales metálicos o combustibles fósiles) y en cada paso de conversión de la cadena de valor se pierde la gran mayoría de la energía. Mejorar la eficiencia en el uso de energía sin dada que beneficia, pero la solución pasa por contener el uso de energía. Lo cual se opone al crecimiento.

(5) Conservar o preservar. La conservación y preservación son dos miradas sobre la naturaleza. Son versiones más duras del ecologismo que se diferencian por la posición del hombre frente a la naturaleza. En la ecología antropocéntrica, como el ambientalismo y el conservacionismo, el hombre está por encima de las demás especies; se le asigna el comando del planeta y tiene el desafío de hacerlo en forma sustentable para utilizar y proteger la naturaleza en simultáneo. Los conservacionistas son amantes de la naturaleza y el enemigo es el desarrollo incontrolado. El objetivo es el uso responsable de la naturaleza.

Una versión más dura es el ecologismo ecocéntrico o biocéntrico. Está centrado en la Tierra y suelen tener un carácter holístico. Considera que la naturaleza existe para todas las especies por igual (“necesitamos a la Tierra, pero ella no nos necesita”) y que los recursos naturales son limitados (“no hay siempre más”). El éxito del hombre depende de que aprenda a colaborar con la naturaleza. La preservación propugna mantener intocable las áreas naturales, en tanto la conservación se inspira en el uso sustentable de los recursos naturales. Por ejemplo, *The Nature Conservancy* administra 50 Mha y es criticada por permitir la explotación minera y petrolera en las tierras administradas, así como tolerar la caza.

Un tema en discusión son los derechos ambientales: ¿es el propietario de la tierra el dueño o el custodio?; ¿tiene el público en general derecho a intervenir en cómo se utilizan las tierras privadas?; ¿tienen derechos los animales? Quienes están a favor de los derechos de los animales sostienen que muchas minorías que ahora tienen derechos antes no los tenían.

(6) Ecologismo extremo. En el extremo duro del ecologismo se observan a movimientos políticos (Partido Verde) con objetivos de contrapoder. El adversario es el *establishment*. Otra posibilidad son los movimientos holísticos como la Ecología Profunda (A. Naess-1973), Gaia, agroecología o permacultura. El Ecologismo Profundo sirve de referencia. Considera la humanidad como parte del entorno y en armonía. No está por encima, ni afuera. Propone cambios culturales, sociales, políticos y económicos para llegar a una convivencia armónica. Propugna una “igualdad biocéntrica” donde las cosas naturales tienen



1422. La ecoeficiencia. Muchos de los movimientos ecologistas blandos se apoyan en la ecoeficiencia para mantener la idea de un crecimiento indefinido. Las organizaciones más duras niegan esta posibilidad. Una versión de lo que se entiende por mejora en la eficiencia se observa en las lámparas de iluminación (arriba-izquierda). A las lámparas incandescentes le siguieron las fluorescentes (como tubos lineales o CFL) y ahora las lámparas a LED. Una mejora en la eficiencia permite obtener mayor cantidad de lumen por Watt-hora utilizado. El incremento de productividad industrial se refleja en una reducción del uso de trabajo humano en la manufactura (derecha). La productividad y el trabajo son inversamente proporcionales. El impacto de la eficiencia se observa en Estados Unidos. Hasta 1975 el consumo de energía siguió al aumento del PBI (centro-izquierda). Sin embargo, en el período 1975-2002 el PBI siguió aumentando con el mismo consumo de petróleo por habitante. En Rusia, la caída de la Unión Soviética produjo una reducción del PBI por habitante del 70% en 5 años, pero las emisiones solo se contrajeron en un 40% (derecha). En este caso la reducción de calidad de vida en PBI y la reducción de contaminación no siguió la misma proporción. En China entre 1985 y 2009, la eficiencia mejoró, medida como energía consumida por cada punto de PBI, pero el consumo de energía total aumentó, siguiendo la paradoja de Jevons (abajo-izquierda). Así que, más eficiencia implica más consumo. Esto es válido aun cuando se comparan regiones del planeta (derecha).

derecho a existir independientes del grado de autodeterminación. Se relaciona con el ecoanarquismo, aunque los anarquistas critican el carácter antihumano de la ecología profunda. En tanto, la ecología profunda está cambiando la opinión negativa por lo humano, derivándola a la responsabilidad de la autoridad política.

Los Principios de la Ecología Profunda son: (1) Toda forma de vida tiene valor en sí misma, independientemente de si es útil o no para el ser humano. (2) La riqueza y diversidad contribuyen al bienestar de la vida y tienen gran valor por sí mismas. (3) Los seres humanos no tienen derecho a reducir esa riqueza de diversidad excepto para satisfacer sus necesidades vitales de una manera responsable. (4) El impacto de los humanos en el mundo es excesivo y está empeorando rápidamente. (5) Los estilos de vida del humano y el aumento de la población son elementos claves en este impacto. (6) La diversidad de la vida, incluyendo las culturas, puede florecer solo con un impacto humano reducido. (7) Para que esto suceda, las estructuras ideológicas, políticas, económicas y tecnológicas básicas deben cambiar. (8) Aquellos que aceptan los puntos anteriores, tienen la obligación de participar en la aplicación de los cambios necesarios y hacerlo pacífica y democráticamente.

(7) Acción directa. Se trata de grupos de activistas que adoptan la intervención activa para lograr los objetivos: actúan en lugar de

presionar a los gobiernos. Por ejemplo, la SSCS (*Sea Shepherd Conservation Society*) tiene una flota de barcos que utiliza para atacar a los balleneros. Dice haber hundido 10 barcos balleneros desde 1979. Fue una escisión de Greenpeace surgida por estar en desacuerdo con las acciones poco agresivas frente a la caza en los océanos. Son considerados ecoterroristas por la IWC (*International Whaling Commission*); en tanto, la SSCS señala como ecoterroristas a quienes matan ballenas, por realizar actos que amenazan a otras especies. En algunos casos la desobediencia civil se la quiso considerar ecoterrorismo (no debe confundirse ecoterrorismo con terrorismo ambiental).

Un caso: la Sea Shepherd fue responsable del hundimiento del Thunder en el 2015. Interpol había emitido una alerta roja para el Thunder como pesquero ilegal en agua antárticas desde el 2006. Se estima que en una década capturó peces por 76 Mus\$, donde la merluza negra era el principal objetivo. La pesca ilegal mueve a nivel global un volumen de 10.000 Mus\$/año. Sin embargo, ningún gobierno estaba dispuesto a dedicar el personal y dinero para capturar al Thunder. La Sea Shepherd tomó el desafío de la persecución desde las aguas antárticas durante 110 días y 18.000 km hasta hundirlo en abril del 2015 con los buques Bob Barker y Sam Simon. Esto prueba que en alta mar todo parece valer, ya que la legislación es benigna y la falta de patrullaje facilita tanto la persistencia de la criminalidad como la justicia por mano propia.



1423. Diversidad de organizaciones. Las organizaciones son muy variadas. Algunas se articulan a nivel internacional (arriba) y otras regional o nacional (abajo). Muchas tienen una coordinación internacional y delegaciones locales (WWF y Vida Silvestre o Birdlife y Aves Argentinas). Algunas son dependientes de los gobiernos (IUCN, WNO, APN, etc). Otras tienen objetivos precisos (Proyungas, Alianza de Pastizal) o amplios (FHN, TNC) de conservación.

Otro ejemplo es ALF (*Animal Liberation Front*) que utiliza la acción directa para rescatar animales de centros de experimentación o industrias basadas en la explotación de animales. Es una organización sin líderes que opera en 35 países, cada célula es clandestina e independiente. Cualquier acción que respete los objetivos de la organización puede ser reclamada por la ALF. El FBI (*Federal Bureau Investigation*) considera a ALF una organización terrorista, aunque ALF se declara no-violenta.

Contra el ecologismo. Desde el otro extremo se objetan ciertos aspectos de los movimientos ecologistas. El antiecologismo es una postura políticamente incorrecta, por lo que suele circunscribir la discusión al calentamiento global, los riesgos de la energía nuclear, los transgénicos y alimentos orgánicos, los métodos de lucha aplicados, etc. Al ecologismo se lo acusa de ser anti-humano, estar contra la tecnología y la libre empresa y ser anti-democrático. La mayoría de la población es indiferente aunque sienta simpatía. Por ejemplo, ¿Cuántos están a favor de utilizar combustibles fósiles? Sin embargo, pocos son los que reclaman poner fin de esta forma de obtener energía.

Václav Klaus expone en su libro "Planeta azul (no verde)" una defensa de la libertad individual frente al ecologismo que lo considera la ideología antiliberal más importante. Dice que este movimiento ha puesto grilletes verdes a la libertad y la prosperidad de nuestro planeta. Apuesta a que el problema del calentamiento global atañe más a las ciencias sociales (el hombre) que a las naturales. Acusa al movimiento ecologista de suscitar una sensación de amenaza, augurar un peligro de magnitudes imprevisibles y conminar a una intervención urgente. Dice que la actitud de los ecologistas ante la naturaleza es análoga a la actitud marxista respecto de las leyes económicas.

Bjorn Lomborg, en el libro "El ecologista escéptico" detalla otros aspectos. La idea principal es que no deben ser las organizaciones ecologistas, los grupos de presión política o los medios de comunicación los que dicten las prioridades, sino la sociedad democrática participando en un debate ambiental. Hace referencia a la manipulación de datos para transmitir una letanía negativa que crea un terror colectivo. Respecto de la contaminación indica que ha disminuido durante el siglo XX, sobre todo en el mundo desarrollado. Además, sugiere que el crecimiento económico está haciendo posible dicho progreso ambiental. Indica que un incremento moderado de temperaturas no es totalmente perjudicial (ni para la salud ni para las cosechas), aunque puede llevar riesgos asociados como las inundaciones por el aumento de precipitaciones. Apuesta por un control del calentamiento global, sin creer en las costosas y dañinas catástrofes que otros ven como inminentes. Indica que el calentamiento global no es ni de lejos el mayor de los problemas que afectan al mundo. Critica la letanía ecologista que relaciona con un sentido calvinista de la culpabilidad. Confía en que, con la creatividad de la humanidad y la unión de los esfuerzos globales, los problemas sean superados. Lomborg dijo que la tecnología de fracking para obtener gas y reducir el uso de carbón "ha reducido más la emisiones que toda la energía solar y eólica del mundo", aunque reconoce que es un combustible fósil. Se ha dicho que "el calentamiento global es el mejor argumento que nunca ha tenido la izquierda para promover una transformación social".

Ejemplos de organizaciones. En el ámbito civil muchas organizaciones sin fines de lucro (ONG) se hacen eco de problemas generales o particulares relacionados con el ambiente y la vida silvestre. Una

clasificación tiene en cuenta los siguientes segmentos: (1) ámbito de trabajo: local, nacional e internacional; algunas organizaciones cubren varios de estos niveles; (2) objetivos: amplios o específicos (por ejemplo, vida marina, las aves, la vida silvestre, recursos naturales); (3) nivel de acción: activista, científico, educativo, partido político. Por ejemplo, TNC (*The Nature Conservancy*) y NGS (*National Geographic Society*) son organizaciones de Estados Unidos con programas mundiales. En cambio WWF y Birdlife son organizaciones internacionales con sedes en cada país. En los 4 casos son políticamente neutrales, científicas y antropocéntricas. En general, el nivel de acción informa sobre la forma de abordar los problemas y la búsqueda de soluciones. Las organizaciones locales luchan por aspectos específicos e incluye la acción directa de protesta y presión. La cooperación entre estas organizaciones es esporádica y normalmente no confluyen (visión tribalista y conspirativa). En lo que sigue se describen algunas organizaciones destacadas.

(1) WWF (*World Wildlife Fund*). Establecida en 1961, cuenta con 5 millones de miembros y una red de 27 organizaciones nacionales, 5 asociadas y 22 oficinas de programas, que trabajan en más de 100 países. Busca la conservación de la diversidad biológica; garantizar el uso sustentable de los recursos naturales renovables y promover la reducción de la contaminación y consumo. Sus mayores éxitos de conservación residen en la creación y manejo de áreas protegidas, conservación de especies, investigación, educación, sensibilización ambiental y desarrollo e implementación de políticas ambientales.

(2) *Greenpeace*. Fue fundada en Canadá en 1971 y tiene sede en Ámsterdam. Fue creada para proteger y defender el ambiente, interviniendo cuando se cometen atentados contra la naturaleza. Lleva a cabo campañas para detener el cambio climático, proteger la biodiversidad, contra la utilización de transgénicos, disminuir la contaminación, acabar con el uso de la energía nuclear y las armas, proteger bosques y paisajes naturales. Tiene presencia en 43 países y 3 millones de socios. Greenpeace busca notoriedad en la prensa y utiliza acciones llamativas y espectaculares. Las corporaciones los califican de ecoterroristas y de manipular informes con objeto de obtener notoriedad. En la Argentina tienen una importante delegación que participó por la ley de bosques, ley de glaciares, basura cero, Riachuelo, etc.

(3) *Birdlife International*. Está dedicada a la protección de las aves y sus hábitats. Se trata de una federación de asociaciones con representantes en más de 100 países. Fue fundada en 1922. Los objetivos son: prevenir la extinción de todas las especies de aves; conservar y mejorar los hábitats de las aves y conservar a través de ellas la biodiversidad y la calidad de vida de las personas. Tiene 2,5 millones de socios y gestiona 1 Mha en conservación.

(4) *Friends of the Earth*. Fue fundada en 1969 y posee más de 1,5 millones de socios en 70 países. Realizan campañas y proyectos para aportar soluciones prácticas y participativas a los problemas del ambiente. Emplea la difusión de información, la educación ambiental y la presión política. En la actualidad su labor se centra en cuatro áreas: cambio climático y energía, agricultura y alimentación, residuos y cooperación para el desarrollo.

(5) *The Nature Conservancy* es la mayor y prestigiosa organización de Estados Unidos en conservación de tierras mediante la recepción de donaciones. Fundada en 1951, tiene un millón de miembros y está

presente en 30 países. Administra 50 Mha. En la Argentina tienen un importante proyecto de conservación de los humedales en la Patagonia. Un problema que se observa en TNC (también en WWF) es el envejecimiento de la membresía. Del millón de miembros el promedio es 65 años; el promedio de edad de cada nuevo miembro es 62 años y solo el 5% de los miembros tiene menos de 40 años. Es el fruto de un movimiento de los años '60 que requiere reinventarse.

Organizaciones en la Argentina. A nivel nacional existen delegaciones de las organizaciones internacionales así como fundaciones que se dedican a temas específicos.

(6) Fundación Vida Silvestre Argentina (FVSA). Representa a WWF en la Argentina y sus objetivos incluyen la protección de la naturaleza mediante proyectos de conservación de especies silvestres y el ambiente. Se ocupa de campañas de información. Tiene un programa importante de reservas naturales privadas y participó en la creación de parques nacionales como fruto de donaciones privadas (Parque Nacional Campos del Tuyú y PN Monte León).

(7) Aves Argentinas. Representa a Birdlife y es la vieja Asociación Ornitológica del Plata AOP fundada en 1916 (una joya del conservacionismo en la Argentina). Entre sus actividades está la Escuela de Naturalistas; los Clubes de Observadores de Aves COA dispersos en todo el país; la administración de reservas naturales; la gestión del programa de conservación de aves emblemáticas, conservación de pastizales y publicación de revistas y libros.

(8) Fundación de Historia Natural Félix de Azara (FHN). Fue creada en el 2000 y se dedica a las ciencias naturales y antropológicas. Contribuye al estudio y la conservación del patrimonio natural y cultural. Tiene una amplia actividad editorial (200 libros sobre ciencia y naturaleza); produjo ciclos documentales; posee un programa de reservas naturales privadas; trabaja en el rescate y manejo de la vida silvestre; promueve la investigación y la divulgación de la ciencia; asesora en la confección de distintas normativas ambientales; organiza congresos, cursos y conferencias.

¿Qué hacer? (iii): Conservación de ecosistemas y turismo responsable

Conservación en áreas protegidas. Quizás el inventor de la defensa del ambiente fue A. von Humboldt. En su obra *Tableau Physique* entrega información detallada del volcán Chimborazo (Ecuador) en 1802, lo que permitió saber cuánto se contrajeron los glaciares. En sus escritos nos dijo que cortar árboles en las pendientes provoca 2 desastres: carencia de combustible y escasez de agua. Dijo que los árboles están rodeados de una atmósfera fría y húmeda debido a la evaporación por las hojas, y que protegen el suelo de la acción solar directa. Dijo que sin árboles los ríos se transforman en torrentes cuando hay fuertes lluvias, las que abren surcos en el suelo y se llevan la tierra. Desarrolló la primera teoría de la vegetación, donde muestra las comunidades en la selva como una suma de individuos con conducta cooperativa y competitiva en búsqueda de comida y luz. Los organismos que sobreviven son los que mejor se adaptan al territorio.

La conservación lleva más de un siglo de vida y se mantiene el debate entre quienes tratan de proteger para el uso humano (representada por Theodore Roosevelt) y los que quieren preservar libre del desarrollo humano (John Muir). Muir fundó en 1892 el primer grupo conservacionista "Sierra Club". El paso dado con los PN (parques nacionales) va en el sentido de la conservación, pero actualmente el movimiento conservacionista moderno se vuelca sobre la preservación.

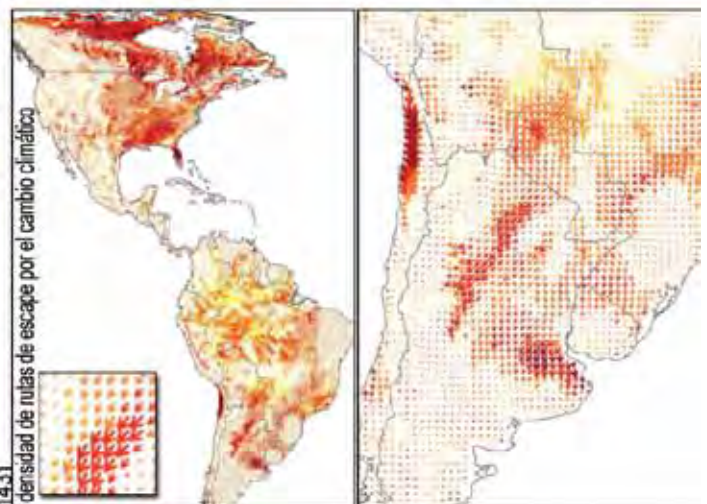
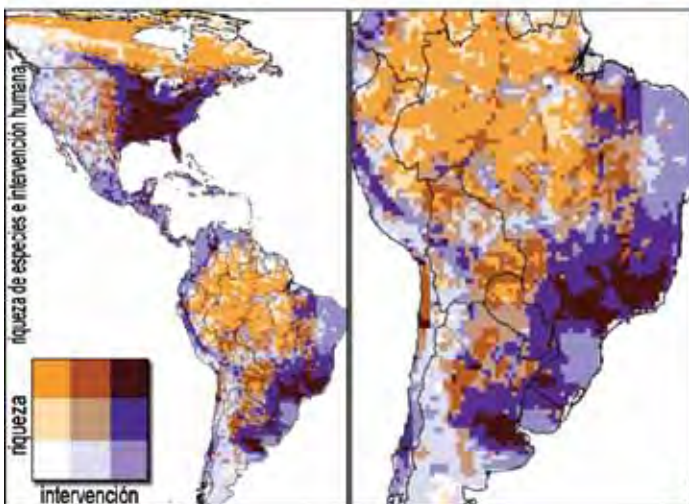
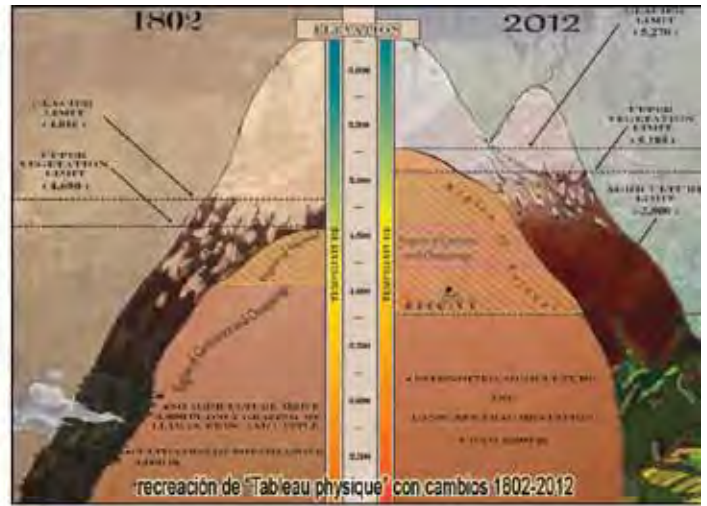
Una de las medidas adoptadas para preservar la biodiversidad y los ecosistemas son los parques y reservas nacionales o privadas. Quizás el área protegida más antigua es el bosque de Sinharaja en Sri Lanka, hoy día es una reserva forestal. En occidente, el Parque Nacional Yellowstone (Estados Unidos) fue establecido como el primero en 1871. En el lado opuesto, China recién en el 2015 informó del interés en fundar parques nacionales para proteger áreas naturales. Hoy hay más de 1.100 PN, con 1.000 hectáreas o más cada uno, desplegados en 120 países. En el 2012 había cerca de 130.000 áreas protegidas que suman el 13% de la superficie terrestre y el 2% de los océanos. Para el

2020 se espera elevar a 17% y 10% respectivamente. El objetivo de la WWF es del 20% de la superficie terrestre. El área protegida que tiene el record de biodiversidad es el PN Manu (Perú) con 1.000 especies de aves, 1.200 de mariposas y 278 reptiles y anfibios. En la Argentina, la Patagonia, un área de alto riesgo, solo tiene un 5% de la superficie en algún status de conservación y la producción petrolera amenaza a extensas áreas.

Las denominaciones de las áreas con protección son diversas y pueden ajustarse a una combinación de 3 tipos de palabras y el nombre propio del lugar. (1) Primero el tipo de protección puede ser parque; reserva, área protegida; refugio; monumento. (2) Luego la jurisdicción del área como nacional; provincial; municipal; privada. (3) Un agregado descriptivo es natural; ecológica; biósfera; estricta; marina. (4) Nombre propio del lugar.

Argentina: parques nacionales. El sistema de Parques Nacionales está destinado a proteger el patrimonio natural y cultural. Los primeros PN fueron el Nahuel Huapi (donación de Francisco Moreno y Exequiel Bustillo) y el Iguazú, ambos creados en 1934. Los PN están localizados en lugares con bajo desarrollo; presentan áreas con una riqueza excepcional y casi virgen en su flora y fauna y con un ecosistema que puede ser el último reducto de especies en extinción. Hay PN en áreas de características geológicas significativas por su origen, formación o belleza natural. En algunos casos tienen el propósito de restaurar a su estado natural ciertas áreas afectadas por el desarrollo humano. Los PN pueden incluir propiedades privadas, poblados y vías públicas, siempre con normas para preservar el ecosistema. La mayor parte de los PN tienen un doble propósito al ofrecer refugio y atracción turística, lo que da lugar al ecoturismo. El turismo, en forma controlada, es fuente de ingreso y un medio de educación.

En la Argentina la APN (Administración de Parques Nacionales), es



1431. La protección de ecosistemas en Sudamérica. En 1802, A. Humboldt exploró el volcán Chimborazo (Ecuador, altura 6.268 m). Luego generó la primera infografía en "Tableau physique" (arriba-izquierda). Una comparación con el presente entrega resultados del cambio climático (derecha). Por ejemplo, el límite superior del crecimiento de plantas subió 500 m en la altura. El pasto "pajonal" subió el límite desde 4.600 a 5.200 m y se propagó en la base por el aumento de la ganadería ya que se usa como alimento para animales. Humboldt situó el inicio del glaciar a 4.814 m de altura y hoy está a 5.270 m. Los registros oficiales indican un aumento de 1,46 °C desde 1866 y casi 0,5 °C adicionales entre 1802 y 1866 (valor global). Es decir, 450 m de elevación por los 2 °C. También el Perito Francisco Moreno dibujó un mapa previo a la formación de los parques nacionales del lago Viedma en 1876 (centro-izquierda). Las áreas protegidas son pocas en Sudamérica, tanto en tierra como en las zonas costeras (derecha). La necesidad de protección y de seguridad sobre la continuidad de los ecosistemas queda en evidencia cuando se estudió la riqueza de especies y el grado de intervención humana (abajo-izquierda). La región pampeana tiene alta riqueza y alta intervención, pero Patagonia es lo opuesto. También se construyó un mapa de rutas de escape para las especies ante el cambio climático (derecha). Los colores más fuertes indican la densidad de tráfico hasta el año 2100 (especies que llegan y especies que se van de un ecosistema). El centro de la Argentina forma una gran ruta desde Bolivia y Paraguay en forma de embudo y encerrada por la agricultura pampeana.

la encargada de la gestión descentralizada. El PN Monte León (2004) fue el primer parque marino continental de la Argentina. Entre los últimos en el 2014 se crearon los PN El Impenetrable (Chaco) con 128.000 ha y el PN Patagonia (Santa Cruz) con 53.000 ha. La APN debe gestionar las áreas protegidas para la conservación de la biodiversidad, el patrimonio natural y cultural y los rasgos paisajísticos sobresalientes. En el 2014 había más de 40 áreas protegidas bajo jurisdicción de la APN. Además, existían cerca de 420 predios protegidos bajo jurisdicción provincial, municipal y privada. Son conocidos con diversas denominaciones: parques provinciales, reservas forestales, reservas de la biosfera, reservas naturales o ecológicas. Algunas calificaron para ser Sitios Ramsar (como la Reserva Costanera en Buenos Aires que es urbana). El total de áreas protegidas en la Argentina era del 10,7% (Ecuador tenía el 20%, Chile el 17,6% y Uruguay el 1,4%).

El sistema nacional de áreas protegidas tiene las siguientes categorías: (1) El área protegida nacional es una categoría muy amplia y abarca toda zona en la cual se protege la naturaleza y la cultura. (2) Parque nacional es un área natural de especial belleza paisajística o de alto valor ecológico. En un parque nacional la actividad humana se reduce al mínimo. (3) La reserva natural preserva un paisaje, ecosistema o una especie. Tal es el caso de la reserva natural Formosa, creada para salvaguardar a los armadillos gigantes (tatú carreta) y al yaguararé. En una RN se permiten actividades económicas humanas limitadas, que no afecten negativamente al patrimonio natural. (4) Monumento natural es la categoría que incluye principalmente al reino mineral. Son formaciones geológicas curiosas, bosques petrificados, paisajes geológicos (Talampaya). También son monumentos naturales especies vivientes como la taruca, la ballena franca austral, el huemul, yaguararé, aguará guazú, pino del cerro, lahuán o alerce patagónico. (5) El parque natural marino es una nueva categoría desde el 2008. Por ejemplo, el parque interjurisdiccional marino costero Patagonia Austral (Chubut). (6) Reserva natural estricta son refugios de especies autóctonas o ecosistemas bajo grave riesgo de extinción (p.e., PN Calilegua). (7) Reserva silvestre y educativa es una categoría que incluyen zonas útiles para la didáctica en la preservación de la ecología y la vida silvestre. (8) Área marina protegida es un sector oceánico que requiere de una protección especial.

Problemas y soluciones. Las áreas protegidas en la Argentina suelen tener diversos problemas. Por un lado, pueden ser invadidas en busca de recursos. Los cazadores furtivos obtienen especies que pueden estar en peligro de extinción con mayor facilidad. El personal de vigilancia y custodia es poco y carecen de medios (p.e., equipos contra incendios forestales). Además, los espacios suelen ser pequeños en extensión y estar dispersos como para mantener una continuidad ecológica. La popularidad lleva al incremento del turismo y no todos cumplen con normas de bajo impacto. Esto produce polución por ruido y movimiento, generación de basura y contaminación del agua. Muchos incendios son intencionales o debidos al descuido de los visitantes. Algunas especies exóticas fueron introducidas y están reduciendo el espacio de las nativas. Por ejemplo, la lucha desigual entre el ciervo colorado europeo y el huemul nativo en los bosques de lenga andino-patagónicos.

En Honduras, la Reserva Río Plátano es un Patrimonio Mundial y se encuentra en peligro por la presencia de narcotraficantes, la pesca y caza furtiva. En México, la deforestación y agricultura arriesgan la Reserva Mariposa Monarca, donde invernan las mariposas en una es-

pecie de abeto nativo (oyamel). En Estados Unidos, el PN Everglades (Florida), se encuentra bajo fuerte presión por la expansión urbana y la agricultura. En la Argentina el PN Campos del Tuyú está en peligro por el ascenso del nivel del mar ya que se encuentra en una zona costera inundable a nivel del mar.

El PN Doñana (España) en 1998 se encontró en riesgo por el derrame de agua ácida y lodo tóxico de piritita desde una mina cercana. El derrame no llegó a entrar en los límites del PN. Pero en 2009 se informó de una contaminación difusa desde productos agroquímicos de plantaciones de arroz (alguicidas y funguicidas). Para saber más de esta contaminación lenta se capturaron y diseccionaron centenas de cangrejos que mostraron un incremento de contaminantes orgánicos.

En la Bahía James (Canadá) los únicos cazadores hasta 1980 eran los nativos (los Cree). La presión de los cazadores deportivos logró que las autoridades habilitaran un camino cerrado que conduce a una hidroeléctrica. Se autorizó un número máximo de animales para mantener la población, usando el cálculo por tiempo de estadía ("captura por unidad de esfuerzo"). El pueblo Cree alertó que la población de alces disminuía y la causa se debía a que las empresas forestales reducían la densidad de bosques y dejaban al descubierto a los alces, siendo más fácil cazarlos (mayor número de piezas para la misma unidad de esfuerzo). La población de alces para 1990 había disminuido a la mitad en la zona habilitada para la caza. Hoy día las autoridades adoptaron el método de estimación de los Cree para la gestión de la población de alces.

Los conflictos en Sudamérica. En Ecuador, la petrolera Maxus construyó en 1992 en el PN Yasuní un camino de 149 km en el área protegida para el tránsito de camiones. En el 2009 se conoció un estudio que señala el cambio de vida en las comunidades indígenas (los Waorani) gracias al fácil acceso al interior de la selva. Surgió un mercado de carne salvaje donde el 70% se dirige al exterior de la comunidad y el comercio aumentó el valor de la carne silvestre en 60% en 2 años, llevando el valor al doble de la carne de animales domesticados. Antes, los grupos eran seminómadas y cambiaron para establecerse en pueblos; además de abandonar las cerbatanas por armas de fuego para cazar. En el 2009 el gobierno subió mediante impuestos el costo de las municiones en 300%. El resultado fue que se redujo la caza de animales pequeños, pero algunos cazadores cambiaron las escopetas por avancargas (la pólvora y proyectil se cargan por la boca del cañón) y, aunque son menos precisos, resultan más baratos. Entonces, los animales grandes se siguieron cazando.

En el Perú, mineros ilegales han invadido la Reserva Indígena Comunal Amarakaeri en la Amazonía. Es un área protegida cogestionada por la autoridad de Parques del Perú (Sernanp) y los pueblos indígenas Harakmbut, Yine y Machiguenga. Un análisis indica que la deforestación para extracción de oro se está extendiendo en la zona de amortiguamiento. Se encontró que la minería pasó de 10.000 ha en 1999 a más de 50.000 ha en el 2012. Otros estudios documentaron un aumento en la contaminación con mercurio de los peces que se venden en el mercado. Los campamentos mineros también se asocian con un aumento de la caza, la violencia, la prostitución y el consumo de drogas.

Otro caso es el Proyecto Ferrocarril Amazónico que unirá Río de Janeiro, Goiás, Mato Grosso, Rondônia hacia Perú. La línea pasará primero a través de densos bosques y pantanos, y luego por desiertos y

montañas. Son zonas de conflicto con tribus y narcotraficantes. Llegará cerca del "ferrocarril del diablo" (1912) entre Porto Velho en Brasil y Guajará-Mirim en Bolivia. Este ferrocarril costó 6.000 vidas y apenas se utiliza después del colapso de la industria del caucho. Como en las carreteras, el ferrocarril abre camino a regiones remotas, lleva un flujo de trabajadores inmigrantes, aumenta la deforestación y ganadería, creando una tormenta perfecta de presiones sobre los pueblos y los bosques.

El caso: "elefantes africanos". Se sacrifican 50.000 elefantes al año y podrían desaparecer en gran parte de su área de distribución. En 2015 había menos de 500.000 elefantes contra 3-5 millones en los años 1930-40. Tanzania perdió el 60% de los elefantes por cazadores furtivos en solo 5 años (bajó de 109.000 en 2009 a 43.000 en 2014) y Mozambique el 48%. El análisis del ADN de los colmillos (estiércol, tejidos y pelo) de elefantes proveniente del comercio ilegal indica que hay 2 puntos calientes que concentran el 85%. Son África Oriental para el elefante del bosque y la frontera entre Tanzania y Mozambique para el elefante de sabana. Los elefantes escapan de los países con conflictos étnicos y se refugian en los Parques Nacionales de países estables. En Uganda aumentó la población de 800 en los años '90, a 5.000 en el 2015, muchos escapan del Congo. Un factor importante son las patrullas militares disciplinadas y los ingresos del ecoturismo. Cerca del 50% de los elefantes del bosque están en Gabón, y un 30% de los elefantes de la sabana están en Botswana.

Servicios ecosistémicos. Este concepto permite atribuir una valuación de los servicios que obtenemos en forma gratuita desde los ecosistemas. Algunos servicios son los siguientes: provisión de alimentos y purificación del agua; entrega de biomasa para combustible; materiales biológicos para la industria; medicinas naturales y reservas genéticas; regulación de inundaciones y control de la erosión; limpieza del aire y control climático; mitigación de desastres climáticos; polinización; control natural de plagas; mantenimiento de la calidad del suelo; soporte de valores éticos y espirituales: educación e inspiración; recreación y ecoturismo; provisión de hábitat natural y producción primaria vegetal y animal; etc. Muchos de estos servicios son invaluable, pero como nuestra cultura se rige por argumentos económicos, la supervivencia de la biodiversidad dependerá del precio que le asignemos.

Por ejemplo, los servicios ecosistémicos que proveen los arrecifes de coral fueron calculados usando un centenar de estudios individuales. El resultado indica que una hectárea de coral entrega servicios por 130.000 us\$/año en promedio. Se consideraron la provisión de alimentos, materia prima y recursos ornamentales (1.100 us\$); regulación de clima, purificación de aguas y control biológico (26.000 us\$); servicios culturales (88.700 us\$) y mantenimiento de biodiversidad (13.500 us\$). La inversión en áreas protegidas tiene también un rendimiento, es la tasa de retorno de la inversión en restauración de ecosistemas. El más alto es la restauración de pastizales (79%) y los bosques tropicales (50%).

A nivel global los murciélagos están en riesgo por la pérdida de hábitat y la propagación de enfermedades. En Estados Unidos la enfermedad "síndrome de la nariz blanca" ha matado al 80% de los murciélagos desde 2007 en el noreste. Para evaluar el valor económico de los servicios ecosistémicos que prestan (control de plagas de insectos nocturnos) se cerraron parcelas de maíz controlando el ingreso de murciélagos (no permitido) e insectos y aves (permitido). La valuación del servicio de los murciélagos llevó el valor global a 1.000 Mus\$ solo

considerando las pérdidas de producción de maíz. Pero además, los murciélagos son dispersores de semillas y polinizadores de muchas plantas. Otro cálculo llevó el valor de los servicios a casi 4.000 Mus\$. Según el BSG (*Bat Specialist Group*) los murciélagos representan la quinta parte de las especies de mamíferos vivientes y su conservación debe ser encarga no solo desde el punto de vista económico, sino ético.

La conservación primero se concentró en las especies, luego sobre los ecosistemas y actualmente sobre la funcionalidad de los ecosistemas. Considera la remediación (restauración), mitigación (contención del daño) y adaptación frente al impacto ambiental humano. Muchos programas y movimientos activistas ponen énfasis en los requerimientos naturales, incluso por encima del hombre. Pueden dedicarse a la protección o restauración de una especie, un hábitat o una región. A esto se lo llama "estrategia de puntos calientes". Una vez identificado el objetivo se establece un Parque o Reserva (nacional o privado) y se protege mediante la disuasión y vigilancia de la normativa interna. Esta estrategia tiene una objeción en la frecuente falta de identificación de la población local con el esfuerzo conservacionista.

Una forma de reducir este problema es pasar a una "estrategia de servicios ecosistémicos". En este caso el plan de conservación incluye una salida que beneficia a la comunidad a cambio de cuidar el ecosistema. La comunidad debe asumir que del ecosistema se obtienen servicios: (1) aprovisionamiento de alimentos y agua, de materias primas (madera, combustible, forrajes) y sustancias bioquímicas y genéticas. (2) sustento: generación de nutrientes y suelo, polinización y oxígeno. (3) regulación: control de inundaciones y sequías; del clima (temperatura); de plagas y enfermedades; control de erosión; procesado de residuos. (4) culturales: bienes espirituales y religiosos; educación e inspiración; recreación (pesca); estética (arte); ecoturismo.

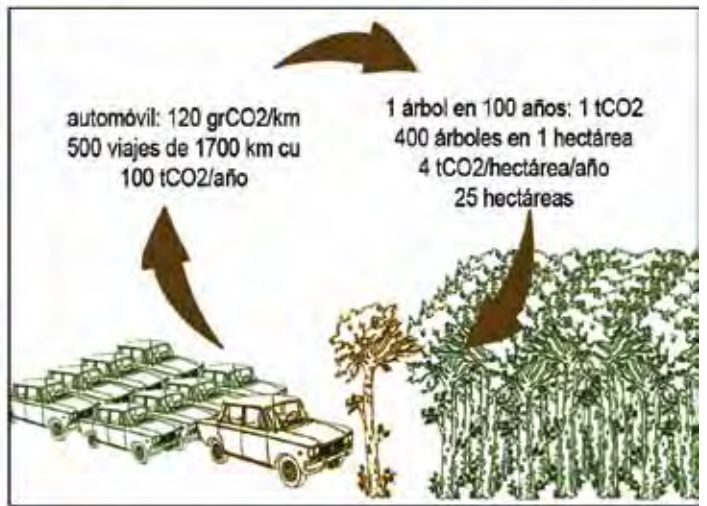
La naturaleza prístina e intocada ya casi no existe. Las nuevas áreas protegidas incluyen zonas urbanas y de producción agrícola. El habitante y productor debe estar integrado al proceso de conservación. No se trata de preservar una especie, se trata de conservar la vegetación para limpiar el agua de nutrientes o conservar los arrecifes para reducir el efecto de las tormentas tropicales. En lugar de hacer plantas de tratamiento de aguas se protegen tierras en las cuencas para la depuración natural. Por ejemplo, en Costa Rica se intercalaron plantaciones de café con áreas naturales. Esto permitió que las aves consumieran el escarabajo barrenador que es una plaga de las plantas de café y redujeran a la mitad los daños. El problema es que muchos servicios ecosistémicos no tienen mercado y cuando interviene el estado para evaluarlos pueden generar desigualdades en el acceso a los beneficios.

Otra forma de valorar los ecosistemas es el turismo sustentable (ecoturismo) que nace gracias a la concientización sobre temas ambientales y el impacto que se ocasiona. Los ambientalistas alertan sobre los efectos del turismo sobre el ambiente y el turista responsable está adaptando sus hábitos. En el 2015 se evaluó que cerca de 8.000 millones de personas visitan al año las áreas protegidas y que los gastos en turismo representan 60 veces los gastos que se realizan en esas áreas. Se usaron datos de 550 sitios y una extrapolación a las 140.000 áreas protegidas del planeta.

Reservas naturales privadas. Más allá de las áreas protegidas por el Estado se encuentran las reservas naturales privadas. La prime-

ra reserva privada en América fue en México en el año 1824. Hoy día son espacios que un propietario destina a la conservación o recuperación del ambiente. Varias organizaciones (FVSA, AA, FHN, etc.) tienen

programas de apoyo a los planes de manejo de las reservas. En 2014 se fundó la Red de Reservas Privadas como un medio para consolidar y propagar las iniciativas. Se estima en cerca de 200 las reservas con



1432. El cuidado de los Servicios Ecosistémicos. Los servicios que ofrecen los ecosistemas son una forma amplia de ver la naturaleza y valorar la conservación. De una estrategia de “puntos calientes” o “conservación de una especie” se pasa a una estrategia de “conservación de los servicios que aportan los ecosistemas”. Los ecosistemas aportan servicios irremplazables e intangibles (arriba). El ecoturismo de bajo impacto es una forma de preservar a los servicios ecosistémicos. Se muestran los objetivos de un emprendimiento pequeño de ecoturismo sustentable con gran amplitud de criterios que incluye conservación y responsabilidad social (centro-izquierda). El cálculo de la externalidad: “viaje en automóvil” para llegar al lugar, es equivalente a una compensación mediante plantación de árboles de 25 ha (derecha). Dos formas de cuidar los ecosistemas (abajo): las prácticas de bajo impacto a seguir cuando se ingresa en zonas protegidas bajo el concepto de no dejar indicio alguno de nuestra presencia (huella turística mínima) y la educación mediante infografías para conocer más sobre el ecosistema y sus servicios (p.e., Esteros de Iberá).

distinto grado de involucramiento. El Sifap (Sistema Federal de Áreas Protegidas) es el organismo federal en la Argentina. En el 2015 señala 420 áreas protegidas que incluyen los PN. Es el 10,66% del territorio nacional con 323 Mha. En 1990 la superficie era del 4,4% de la Argentina y el impulso se concentra en los últimos años. Algunas provincias implementaron la deducción impositiva para apoyar la iniciativa de los propietarios.

El ecoturismo. El turismo puede clasificarse de diferentes formas: de placer o recreativo (sol y playa, parques, hoteles temáticos); de salud (fuentes termales, spa, tratamientos médicos); de negocios (convenciones, ferias y exposiciones); cultural (religioso, arquitectónico, artístico, educativo, científico); deportivo; sustentable (aventura, naturaleza, ecoturismo, agroturismo, turismo rural). Una característica importante para la sustentabilidad es si se trata de turismo masivo.

El listado de problemas que ocasiona el turismo masivo tradicional incluye: la urbanización de zonas naturales; sobreutilización de los recursos y sobrecarga de visitantes; el tratamiento de la basura sólida y la contaminación de agua por los residuos líquidos; destrucción de monumentos históricos y arqueológicos; contaminación del aire por el uso de vehículos; cambios en el paisaje para favorecer actividades de ocio; ocupación de puestos calificados por personal externos a la comunidad; cambios culturales en la sociedad anfitriona (valores, comportamientos y patrones de consumo); mercantilización de las tradiciones; choques culturales; aumento del crimen y la prostitución en forma estacional.

El turismo masivo no es sustentable. La sustentabilidad se logra cuando los recursos naturales y culturales se conservan para su uso continuo, al tiempo que reportan beneficios económicos para la comunidad. Se trata de modificar las pautas de consumo del visitante para revertir el deterioro. Se debe realizar un monitoreo del impacto ambiental de forma que la calidad se mantenga y mejore, favoreciendo la biodiversidad e impidiendo la entrada de especies exóticas. El turismo sustentable actúa como un medio de concientización y educación. Debe procurar un elevado nivel de satisfacción (calidad de servicio) para retener el prestigio y potencial comercial del destino. Se deben respetar las pautas de los pueblos locales e indígenas, minimizando los cambios culturales de la sociedad anfitriona; evitando afectar las costumbres (música y artesanías). Se deben respetar la igualdad racial, étnica y religiosa, atendiendo a la prosperidad y equidad social.

El ecoturismo (turismo naturalista) es una parte del turismo sustentable que hace uso intenso de la naturaleza. Se considera que el "turismo de sol" llegó a su estado de maduración y que el "turismo natural (ecoturismo)", "turismo aventura (suave)", "turismo cultural (rural)" y "turismo científico" son los que más van a crecer en las próximas décadas. Las encuestas que se manejan indican un creciente interés en favorecer el ambiente y alojarse en lugares que demuestran sustentabilidad y programas de Responsabilidad Social. Las encuestas dicen que se valora las empresas que tienen códigos escritos referidos al aporte social y cuidado ambiental ("turismo ético") y que pagarían un excedente por estas garantías. El perfil del ecoturista muestra que se trata de viajeros experimentados, con educación y cultura elevada y que consultan e informan sobre la calidad del servicio recibido.

El ecoturismo utiliza normas de mínimo impacto en el ambiente. Hace uso del concepto de capacidad de carga del ecosistema, poniendo límites de volumen e intensidad de uso. La capacidad de carga

es el máximo aprovechamiento que se puede realizar de los recursos (económicos, sociales, culturales y naturales) sin reducir la calidad del servicio y sin impactos negativos en la sociedad y el ambiente. Por eso, el ecoturismo es ofrecido a grupos pequeños, por pequeñas empresas y con tiempos espaciados entre grupos; requiere un consumo muy bajo de recursos no renovables y enfatiza la participación local y oportunidad de negocios para la población rural. El ecoturismo apunta a la interacción, conocimiento y contemplación de la naturaleza, en tanto participa en su conservación. Se realiza en áreas poco perturbadas e incluye prácticas de entendimiento y sensibilización.

Aun con el bajo impacto, la presencia humana en la naturaleza cambia los hábitos de los animales. El acostumbramiento a las formas "benignas" de los ecoturistas puede relajar la guardia de los animales. Se hacen más audaces y se ponen en peligro. El ecoturismo puede volverse similar a la domesticación o urbanización. La presencia humana puede desalentar a los depredadores naturales, creando una especie de refugio, donde los animales gastan menos tiempo en alerta y más en alimentarse. La conducta más relajada y audaz deja a los animales en mayor riesgo ante la presencia de depredadores naturales o cazadores furtivos.

Es normal que se generen conflictos con los productores tradicionales, ya que el ecoturismo fija limitaciones a las costumbres. Por ejemplo, la prohibición de caza, de cortar leña o cosechar plantas, el ecoturismo se opone a la producción agropecuaria intensiva y la silvicultura de monocultivo. Requiere construcciones armoniosas con la naturaleza, el procesado de residuos, la reducción del ruido y de la luz nociva nocturna. También cuida de los senderos con itinerario fijo, circular, sin pisoteo externo. Los guías locales y bien entrenados favorecen la interpretación cultural ligada a la naturaleza.

El ecoturismo carga el peso de la externalidad de los viajes aéreos. En el 2010, el grupo *Voyageurs Du Monde* comenzó a compensar el 100% de las emisiones propias y el 10% de los clientes adhiriendo a programas de reforestación y asumiendo los costos. En cambio el grupo *Bali Autrement* eligió facturar en forma voluntaria a sus clientes la compensación de sus viajes. Los grandes operadores como *Nouvelles Frontières* o *Thomas Cook* están empezando a adoptar acciones en ese sentido. Dicen que en 2015 no hay un marco legal y que no hay presión de los consumidores. Una etiqueta elaborada junto asociaciones ecologistas permitirá evaluar el impacto en CO₂ de los viajes. El grupo Air France-KLM prometió reducir las emisiones de CO₂ un 20% para 2020 respecto a 2011, gracias a la mejora de la eficacia energética de la flota y al "eco-pilotaje". El consumo medio es de 3,44 litros por pasajeros cada 100 kilómetros, un 38% menos que en el 2000. Pero, algunos dicen que las mejores tecnologías no serán suficientes para contrarrestar la subida del tráfico aéreo. Dicen que la única forma de hacer los viajes "eco-compatibles" es optar por medios de transporte alternativos que consuman menos CO₂ y encarecer el precio de los boletos aéreos.

El caso: "la ecoposada". Esta posada se destaca por ser un proyecto pequeño pero muy completo y diverso (www.ecoposadadelestero.com.ar). Se encuentra en la Colonia Carlos Pellegrini (Corrientes). El proyecto destaca 3 ejes estratégicos: turismo sustentable, conservación y educación ambiental. Es un emprendimiento pequeño (7 habitaciones) que ofrece paquetes completos de estadía (alojamientos, comidas y excursiones).

un planeta

(1) La construcción. Se utilizaron materiales del lugar (madera y barro), solo algunos pocos materiales fueron traídos desde fuera de la comunidad. La mano de obra fue local (muchos aprendieron el oficio por primera vez). Los muebles son de madera de la región y tallados por artesanos locales. Los pisos son de madera o de cerámica artesanal de pueblos vecinos. La decoración es minimalista respetando lo hecho por artesanos. Se instaló una biblioteca para uso y consulta de los huéspedes y una videoteca y plasma para uso en los cursos de entrenamiento. La energía es eléctrica y, aunque es energía limpia (proviene de la represa hidroeléctrica Yacypetá), se trae desde lejos. Se espera incorporar autogeneración con energía solar.

(2) La gestión. La cocina es regional y artesanal. Se piensa en implementar la trazabilidad de alimentos (seleccionar un proveedor para cada rubro y hacer un seguimiento de calidad). Se respetan regímenes de comidas especiales. Se sugiere al huésped el ahorro energético sin afectar la calidad de servicio. La atención es por parte de los dueños o vecinos. Los guías están capacitados en la observación de flora y fauna. Hay guía bilingüe en forma permanente. Se hacen talleres de baile y actúan conjuntos de música (chamamé) del pueblo, como medio de integración cultural.

(3) La conservación. El predio tiene solo plantas nativas. Durante la construcción todas las plantas afectadas fueron trasplantadas a la periferia del terreno. Se dispone de un mirador de altura por sobre el nivel de los árboles. Crearon una reserva natural privada (Programa de la Fundación de Historia Natural Félix de Azara) a 15 km del lugar que se visita todos los días con guías. Un campo anexo a la reserva se destina al Programa Ganadería de Pastizal y produce la carne que se consume en la posada.

(4) Responsabilidad social. Los esfuerzos se concentran en la educación ambiental. Editan libros sobre la naturaleza con la Editorial Vazquez Mazzini. Publican artículos en revistas sobre temas afines. Financian el dictado de cursos en la Colonia por parte de invitados y en otros lugares del país. Son activos organizadores de Conferencias sobre vida silvestre. Formaron un Ecotaller para que alumnos de la escuela local estudien ciencias naturales e inglés como complemento a la educación formal.

Este proyecto considera que dentro de sus límites de trabajo es sustentable. Sin embargo, cuando se consideran la externalidad del viaje en automóvil, la sustentabilidad está amenazada. Ubicado a 815 km de Buenos Aires, la mayoría de turistas recorre en su automóvil los 1.700 km de viaje liberando gases GEI. Una posible solución es incorporar 25 hectáreas de plantación de árboles para neutralizar este costo externo.

Prácticas de bajo impacto. Los PN y distintas áreas protegidas son lugares especiales para el ecoturismo. Se deben seguir prácticas de bajo impacto cuya premisa es "no deje signos de que usted haya estado alguna vez en el lugar". Es decir, la "huella turística" a su mínimo valor. Siguiendo las recomendaciones de guardaparques, se mencionan estos aspectos para reducir la huella turística.

(1) Planificación. El grupo debe ser pequeño para reducir el impacto (hasta 10 personas). Con grupos grandes se deben visitar campings organizados con servicios (baños y mesas). Con grupos pequeños se requiere llevar comida liviana y nutritiva, en bolsas de nylon (para quemarse o traerse de vuelta). No llevar comida enlatada o embotellada.

Llevar bolsas para residuos (nuestros y de otros). Evitar introducir especies exóticas o mascotas.

(2) Caminando en senderos. Moverse en fila sin salir del sendero. Caminar dispersos aumenta la erosión y altera el lugar. Evitar caminar sobre suelo anegado, porque es susceptible de deterioro. No cortar camino en los zigzags, ya que la línea de máxima pendiente produce más erosión. Hacer los descansos fuera de la picada y en lugares con poca vegetación. Dejar paso a otros caminantes. No producir ruido ya que altera la fauna y deteriora la experiencia en la naturaleza. Cuando se camina sin senderos se debe dispersar el grupo y no caminar en fila para no crear senderos en áreas prístinas. Elegir superficies duras (roca, pedreros o cursos de arroyos secos). No señalizar (cintas colgadas o machetazos en los árboles).

(3) Acampando. Los buenos sitios de campamento no se hacen, sino que se encuentran. Hay que adaptarse a la naturaleza y no la naturaleza a nosotros. Usar lugares permitidos o ya impactados. Dispersar las actividades para no pisotear demasiado un punto. No usar sitios con poco impacto para que se recuperen. Usar calzado de suela blanda (zapatillas o alpargatas). Evitar el pisoteo de la vegetación. Cerca de pequeñas elevaciones con algo de bosque el ambiente es más cálido que las orillas de arroyos o pastizales húmedos. Además, hay menos insectos y vegetación delicada sensible al pisoteo. Acampar entre árboles, arbustos y rocas, aumentando la sensación de privacidad. No hacer canaletas alrededor de la carpa porque dejan cicatrices duraderas. Permanecer pocos días para minimizar la acumulación de basura y evitar daños a la vegetación y suelo. No construir estructuras (círculos de piedra, camas, bancos). No cortar plantas verdes. Antes de irse revisar el lugar y asegúrese que no quedan rastros de su visita. Evitar llevar el vehículo hasta la carpa, deteriorando la vegetación y el suelo. No lavar vehículos en los cursos de agua.

(4) Aspectos sanitarios. Hacer un pozo pequeño lejos de los cursos de agua y cubrir las deposiciones con suelo. No lavarse las manos en el arroyo; no orinar cerca del agua, en el campamento o senderos. Usar papel higiénico biodegradable, blanco y no perfumado. Los jabones biodegradables también contaminan el agua. No lavar en los arroyos o lagos, hacerlo lejos de los cursos de agua, con jabón blanco. Hacer un pocito y tirar el agua jabonosa. No enterrar la basura, quemarla o llevarla de vuelta. No tirar restos de comida que ensucian el área y facilitan el contagio de parásitos.

(5) Haciendo fuego. Llevar un calentador liviano y evitar hacer fuego. Usar un sitio de fogón ya usado; no inaugurar uno nuevo. Usar leña seca y caída que pueda cortarse a mano. No usar grandes troncos, porque son hábitat de muchos organismos. Usar leña pequeña porque no deja troncos a medio quemar. Hacer fuego cerca del agua; en un punto alejado de árboles y arbustos. Hacerlo sobre suelo inorgánico o limpiar las hojas hasta llegar al suelo "desnudo". No hacer fuego junto a una roca porque el humo la ennegrece. Seleccionar un punto arenoso o de suelo muy duro. Alimentar el fuego de a poco, para evitar quemar la vegetación circundante. Nunca dejar el fuego sin atender. Fumar sólo en lugares seguros y no dejar los filtros en el lugar.

(6) Cabalgatas. Usar la menor cantidad posible de caballos y seguir los senderos. Evitar sectores con el suelo saturado de agua. Hacerles tomar agua en vados o lechos rocosos o pedregosos. Evitar las márgenes de agua con suelo blando. En las paradas, atar el caballo a un

buen árbol ya que los pequeños son blandos y se dañan por el tirono y la abrasión de las riendas. Envolver la sog a dos veces alrededor del tronco para disminuir el daño a la corteza y hacerlo lejos de cursos de

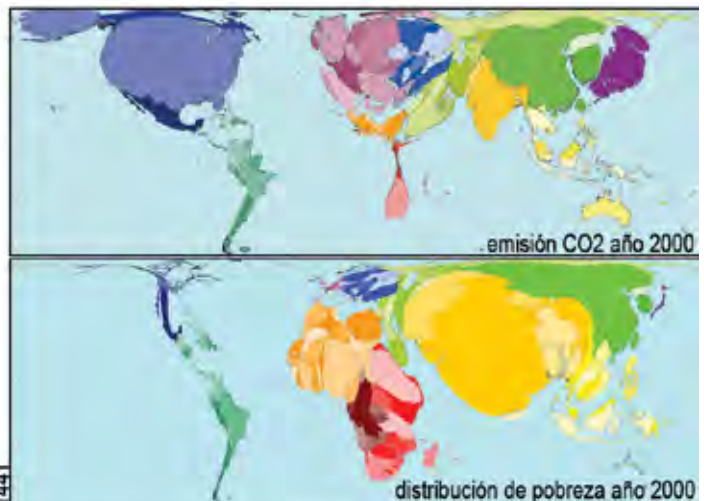
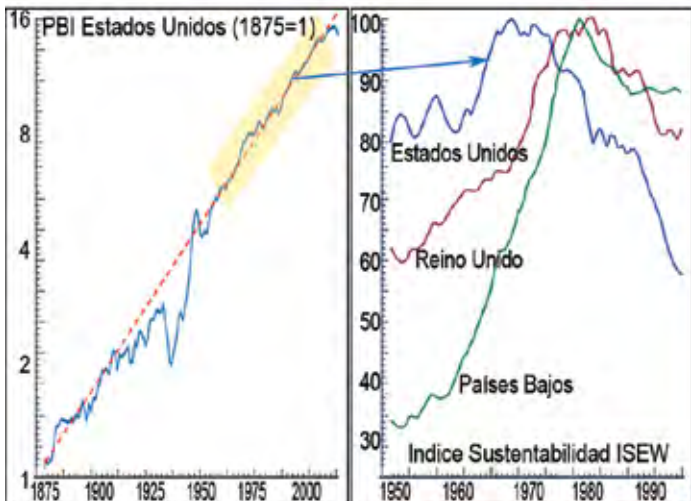
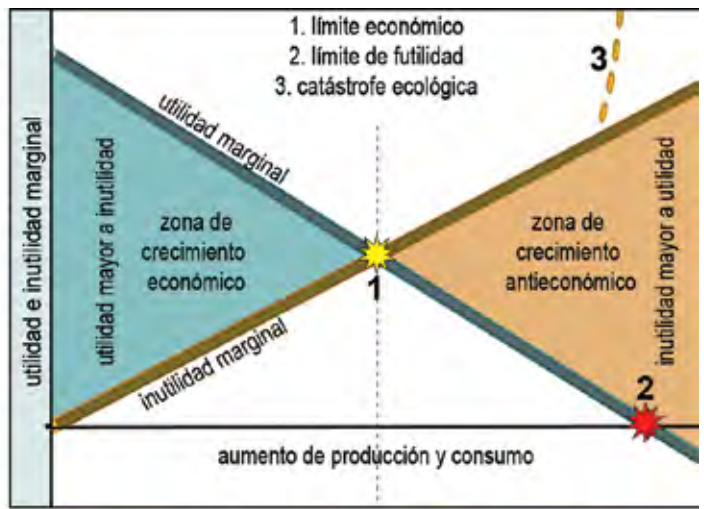
agua para evitar la contaminación. Dispersar la bosta con un palo, para acelerar su descomposición. El que va de a pie debe ceder el paso a los que cabalgan saliéndose del sendero ladera abajo.

¿Qué hacer? (iv): una ciencia económica renovada

Con una etimología común ("eco" significa "casa" en griego), la economía se refiere a la administración de la casa (como Estado) y la ecología al estudio de la casa (como hábitat). Un nombre cercano para disciplinas muy distantes. Mientras la economía es matemática y suele mirar el corto plazo, la ecología es evolutiva y observa el muy largo plazo. La economía estudia a los humanos y la ecología al ambiente natural (casi

sin humanos). La economía pretende el crecimiento y la maximización de las ganancias y la ecología busca la supervivencia de las especies y maximizar la reproducción. Para algunos la economía es partidaria del libre comercio y la ecología se opone. Una diferencia muy importante es que la economía clásica es optimista (apuesta a un crecimiento sin límites) y la ecología es pesimista (el daño al ecosistema es irreparable).

Descripción	economía convencional	ecología convencional	Economía Ecológica
visión básica	mecánica, estática, atomista, individualista	evolutiva, atomista	dinámica, sistemática, evolutiva, holística
marco temporal	corto plazo	escalas múltiples, muy largo plazo	escalas múltiples,
marco ecológico	solo humanos, antropocéntrico	solo no-humanos, ecocéntrico	ecosistemas, incluido humanos
objetivo primario macro	crecimiento económico, sistema cerrado	supervivencia especies	minimizar daño a futuro, pesimista al crecimiento
objetivo primario micro	maximizar ganancias, incluir externalidades	maximizar reproducción	ajustados a objetivos del sistema
perspectiva de progreso	muy optimista, sostenibilidad débil	pesimista, casi sin opciones	escéptica, prudente, sostenibilidad fuerte
postura académica	disciplinaria, monetaria, eficientista, tecnológica	disciplinaria	interdisciplinaria, indicadores bio-físicos
tasa de descuento	mayor a cero	igual a cero	igual a cero
sistema	sistema cerrado, abstracto y general		sistema abierto, sistemático y concreto



1441. Una economía para el ambiente. La economía convencional y la economía ecológica son ramas diferentes de las ciencias. La economía ecológica se destaca por un carácter holístico, multidisciplinario, basado en una sustentabilidad fuerte y es escéptica (arriba-izquierda). Cuando se incluye la herramienta del crecimiento antieconómico se suma a la utilidad marginal producto de la producción y el consumo, la inutilidad marginal producto del consumo de recursos no renovables y la contaminación (derecha). Si el aumento continúa se puede llegar a una catástrofe ecológica (la inutilidad marginal aumenta abruptamente) o al límite de futilidad (no existe utilidad posible). Uno de los desafíos éticos es la aplicación del análisis "costo-beneficio" cuando ambos no están a cargo de los mismos individuos. Además hay una desagregación costo-beneficio del tipo temporal (generación humana que lo paga y recibe) y espacial (la región del planeta). La disyuntiva ética es: ¿es ético estar jugando a la "ruleta rusa" con el futuro del planeta? El Índice de Sustentabilidad ISEW (abajo-izquierda) permite mejorar al índice PBI como medida de calidad de vida. No solo toma en cuenta la actividad económica, sino que añade el consumo de la biocapacidad regenerativa del planeta. Por ejemplo, para Estados Unidos aunque el PBI sigue aumentando por décadas, el ISEW se reduce al superar la biocapacidad en los años '70. Las desigualdades entre regiones se ponen en evidencia al observar la contribución en las emisiones de CO₂ y la pobreza (derecha). El tamaño de los países es un indicador del aporte en cada rubro.

Economía ambiental. En la historia de la economía varias líneas de estudio pusieron en evidencia los límites del ambiente. Malthus, entre 1798 y 1826, estudió el crecimiento poblacional y advirtió que "la población crece más rápido que los medios de subsistencia". Además generó predicciones catastróficas, que al no cumplirse, demoraron un siglo el surgimiento de una economía que considera los límites del ambiente. Desde los años '70, con el Club de Roma, algunas corrientes de economistas, como la Economía Ambiental, se ocupan de incorporar la finitud de los recursos. De la economía convencional (neoclásica) se dijo que "descreen que la Tierra es redonda, porque de hacerlo admitirían que es finita". La economía no trabaja en el vacío, es un subsistema dentro de la biosfera; aunque en la mayoría de los conceptos económicos no se la encuentre como una variable.

La economía ambiental advierte sobre un "crecimiento anti-económico" cuando se supera la biocapacidad. Maneja los conceptos tradicionales, pero introduce los "costos totales" incorporando las externalidades y considerando la contaminación y agotamiento de los recursos naturales. Analiza la tasa de descuento de estos costos (Informe Stern) y advierte sobre la necesidad de invertir una parte del PBI para revertir los daños ocasionados a futuro. Apuesta a que la ecoeficiencia puede mejorar los resultados. Señala que "si lo que se consume son recursos no-renovables se debe compensar con la generación de recursos renovables" (usar petróleo para producir centrales de energía solar).

Economía ecológica. También llamada bioeconomía, no es una variante de la economía (como la economía ambiental). Se autodefine como la "ciencia de la gestión de la sostenibilidad". Es interdisciplinaria con aportes desde distintas ramas de la ciencia; posee una visión planetaria holística e intenta minimizar el impacto sobre las futuras generaciones. El problema sustancial es la sustentabilidad entre los diversos subsistemas económicos y el macro sistema natural. Por ejemplo, un proyecto de ecoturismo puede desarrollarse para ser sustentable, pero deja de serlo cuando se le agrega el viaje en automóvil (una externalidad).

La economía ecológica considera a la Tierra como un sistema termodinámico cerrado, donde la economía es uno de los subsistemas del ecosistema global. Esto implica que hay límites para el rendimiento de los recursos biofísicos. Considera que las instituciones tienen que ser proactivas en lugar de reactivas. Las políticas deben ser simples, basadas en una comprensión profunda de las incertidumbres subyacentes en el sistema. También discute el intercambio desigual entre países centrales y periféricos. Los periféricos venden un stock de recursos naturales sin reposición lo que lleva a un empobrecimiento a largo plazo si no generan un sustituto renovable.

El crecimiento anti-económico. Desde hace décadas el crecimiento presiona por encima de lo que regenera el planeta. Se lo llamó crecimiento antieconómico ya que se producen más "males" que "bienes", por lo que seremos más pobres y no más ricos. El punto de equilibrio ocurrió cuando se igualaron la tasa de consumo y regeneración de recursos naturales y cuando se igualaron la tasa de emisión y asimilación de residuos. ¿Se puede invertir el crecimiento del deterioro? ¿Es posible crecer sin incentivar el calentamiento global? Varios estudios indican que no. Por ejemplo, la Unión Soviética tenía en 1989 un PBI de 5.300 us\$ por habitante y 5 años más tarde la suma de países daba 1.600 us\$/hab. En tanto, el índice de PBI era negativo (-70%), las emisiones de CO₂ solo se redujeron una parte (-40%). Esto se debe a

que la infraestructura estaba disponible y aunque se usaba menos, no por ello se paralizó. Y además no se renueva, con lo que la eficiencia se reduce.

La contabilidad de las naciones mediante el PBI no lleva un registro de los costos del crecimiento. La biosfera es un sistema cerrado, salvo el aporte de energía solar, y la economía debe adaptarse a un equilibrio limitado. Es similar en el sistema de reparto de pensiones: cuando el número de aportantes disminuye y de pensionados aumenta, debido a los cambios demográficos, el sistema se vuelve inestable y se convierte en un problema estructural.

El desarrollo puede ser sustentable, pero no el crecimiento. ¿Cómo se logra un desarrollo sustentable?, mediante redistribución, control poblacional y aumento de la productividad de los recursos naturales. ¿Puede continuar el crecimiento? Sí, pero pasaría a ser un "crecimiento antieconómico", donde lo que se pierde es más importante que lo que se gana. Y al final podría tener un límite abrupto; como lo describe la "Teoría de Olduvai". Esta teoría pronostica una caída para esta civilización como ocurrió con otras anteriores y por causas similares (capacidad de carga del planeta).

Pesimistas y optimistas difieren en la evaluación del costo ambiental del crecimiento. Los optimistas apuestan al ciclo auge-recesión-crisis-reactivación para sostener un crecimiento a largo plazo. Un ejemplo de cómo diversos intereses pueden actuar se dio en el 2014. El valor del petróleo por encima de 100 us\$/barril facilitó el desarrollo de la tecnología de fracking para petróleo y las energías renovables. El fracking incrementó la producción de gas en Estados Unidos; lo que llevó a la reducción del consumo del carbón y su reemplazo por gas natural en las centrales térmicas. Paralelamente se subsidiaron las energías renovables (solar y eólica). En el 2014, algunos miembros de la OPEP (Organización Países Exportadores de Petróleo) decidieron producir lo suficiente como para bajar el precio del petróleo (de 100 a 50 us\$/barril en 6 meses) y hacer que la tecnología de fracking no sea redituable. Esto también afectó a los programas de energías renovables. En este ejemplo, la reducción de precio incentiva el consumo de un recurso no renovable y afecta al desarrollo de las energías renovables.

El "Informe Stern". Este estudio fue el primero encargado a un economista (Nicholas Stern) y publicado por el gobierno británico en el 2006. El Informe Stern analiza el impacto del cambio climático y el calentamiento global en la economía mundial. La distribución de emisiones por sectores de la economía indica que el más importante es la generación de electricidad, pero que sumando las componentes de agricultura y deforestación (uso del suelo) superan al transporte. Un dato interesante es que entre 1970 y 2004, las mejoras tecnológicas redujeron las emisiones de CO₂ por unidad de energía. Pero, los ingresos crecieron el 77% y la población el 69%, lo que originó nuevas formas de consumo y el incremento global de CO₂ (paradoja de Jevons). El informe también señala que desde el año 1850, Estados Unidos y Europa generaron el 70% de las emisiones totales de CO₂, de forma que los países desarrollados fueron los grandes aportantes a la huella de carbono global actual.

En el mismo informe se afirma la necesidad de una inversión equivalente al 1% anual del PIB mundial para mitigar los efectos del cambio climático. De no hacerse se podría llegar a una recesión del orden del 20% del PIB global (invertir el 1% al año para evitar una

pérdida del 20%). También se sugiere la imposición de eco-impuestos para minimizar los desequilibrios socioeconómicos. Años después, se calculó que la renta media global se reducirá el 23% para el 2100 si la contaminación de CO₂ seguía el ritmo actual. Pero algunos países (Rusia, Mongolia y Canadá) tendrían beneficios económicos por el calentamiento global, cuando la mayor parte de África, Asia, América del Sur y el Oriente Medio sufriría de forma muy grave. El cambio climático sería una transferencia de valor desde las partes calientes a las frías del planeta, donde los costos y beneficios no son pagados por los mismos actores.

Un mejor cálculo de PBI. El PBI (Producto Bruto Interno) mide la actividad económica, aunque muchos lo asimilan al “bienestar” o calidad de vida. Así, “crecer a tasas chinas” (aumento del PBI del orden de 10% anual) parece un símbolo de bienestar. Pero las objeciones son tantas que deben ser analizadas con cuidado.

El PBI no considera el consumo de recursos naturales no renovables o la destrucción de activos por desastres naturales o contaminación. Si un desastre natural destruye un pueblo que luego se reconstruye, solo cuenta la reconstrucción. No mide las externalidades, de forma que si una fábrica contamina y enferma a los vecinos se considera varias veces en forma positiva: la producción del contaminante, la limpieza de la contaminación y el cuidado de los enfermos. Un país puede aumentar el consumo de un recurso natural hasta agotarlo (p.e., un acuífero) y el PBI seguirá aumentando alegremente hasta el día del desastre. En forma opuesta, si se cambian equipos eléctricos por otros más eficientes, el PBI señalará una reducción del consumo eléctrico y será un indicador negativo. Se dijo: “Adam Smith no escribió sobre *el PBI de la naciones*, escribió sobre *la riqueza de las naciones*. Lo que se debe estimar es la riqueza, que incluye el capital natural.”

En el PBI, el empleo público se cuenta como generadora de riqueza, cuando muchas veces no lo es. También, solo cuenta valores monetarios y no contabiliza el impacto ecológico o las desigualdades en la distribución de la riqueza. La economía informal se puede estimar, pero no se considera la producción para autoconsumo (granjas comunitarias); el trabajo sin fines de lucro (ONG) y las obras de bien. Lo que se hace por sí mismo solo se contabiliza si pasa por el mercado formal. En la Argentina, en el 2011 se publicó que el 82% del personal en las ONG son voluntarios. En el 2014 se estimó que si esta actividad fuera rentada equivaldría a 5.000 Mus\$.

En el 2014 la Unión Europea recomendó incluir en el cálculo del PBI los servicios de prostitución y las drogas. ¿Es este un indicador de bienestar? ¿Es voluntaria la elección de la prostitución y las drogas? Si un número importante de personas se vuelcan a la prostitución o como agentes de seguridad privada, ¿se trata de un indicador de mejora? Además, ¿mayor PBI significa mayor felicidad? Una encuesta a nivel global mostró una correlación entre ambos aspectos hasta un PBI de 36.000 us\$. Por encima, la felicidad cae debido a que aumentan las aspiraciones por encima de los ingresos. Lo que aspiramos tener se convierte en un objetivo móvil.

Para corregir los defectos del PBI una de las alternativas es el índice ISEW (*Index Sustainable Economic Welfare*). El ISEW elimina del PBI los gastos en defensa públicos y privados (por considerarse contrarios al bienestar); los costos de degradación ambiental (contaminación) y la depreciación del capital natural (reducción de los recursos

naturales). Además, suma los trabajos no rentados. Así contabilizado, el PBI de Estados Unidos deja de crecer en forma permanente. En el período 1950-1994 el PBI pasa de 8.000 a 17.000 us\$ por habitante al año; pero el ISEW desciende de 6.000 a 4.000 us\$/hab/año. El ISEW máximo de Estados Unidos se dio a fines de los años '60, coherente con la reducción de la biocapacidad. En el 2004 se anunció en China el cambio del PBI por un “PBI verde”, que debía restar el deterioro de los recursos naturales. La idea se abandonó pronto porque la reducción era tan grande que se convirtió en políticamente inaceptable. Además, es muy compleja la cuantificación de los costos por contaminación del aire en las ciudades.

Un arsenal de medidas. Se diseñaron diversas alternativas para manejar los premios y castigos relacionados con la polución. Una alternativa son las regulaciones, pero tienen costos administrativos altos para el control. Otra son las subvenciones que pueden generar o eliminar distorsiones. Además está la emisión de distintos tipos de bonos para distribuir las cargas.

(1) Impuesto al Carbono. El CO₂ es invisible, pero el smog se ve. Por eso la preocupación es mayor cuando el aire está sucio. Sin embargo, es complicado calcular el daño que ocasiona el CO₂ como para hacer “pagar por la contaminación”. El impuesto al carbono (Impuestos Verdes) tiende a desalentar las emisiones mediante un pago proporcional (“quien contamina, paga”). Intenta promover el consumo de productos similares con menores emisiones. Por ejemplo, aplicar un impuesto diferenciado sobre los automóviles en función de las emisiones. Un impuesto gradual ayuda a planificar las inversiones a futuro, permitiendo reducir la dependencia de los combustibles fósiles. Chile es el primer país de Sudamérica que aplica un Impuesto al Carbono. Pretende reducir las emisiones un 20% en el 2020 respecto del 2007. El impuesto es de 5 dólares por cada tonelada de CO₂. México y Costa Rica lo aplican como impuesto al combustible y en México es de 3 us\$/tCO₂.

(2) Bono de Carbono (“*cap-and-trade*”) o Derechos Comercializables. Es complementario al “impuesto al carbono” y se imprimen derechos que son comercializados. Se utilizó en los años '90 para reducir la emisión de nitratos y sulfatos en Estados Unidos desde las centrales a carbón. El proceso genera un límite global de emisiones y se distribuye en forma gratuita o se vende mediante subasta (p.e., 10 us\$/tCO₂). Estos Certificados (“bono de carbono” en el Protocolo de Kyoto) pueden negociarse, siendo un incentivo para invertir en tecnología más eficiente. Las objeciones son varias. Se los llamó “licencia para matar” y dicen que se trata de un *laissez-faire* donde se espera que el mercado oriente las inversiones. Si el gobierno regala bonos como incentivo para vender el excedente, las empresas más contaminantes podrían ser las que más se benefician en la comercialización. También, es cuestionado debido a la corrupción y mala fe en el manejo; actuando al borde de lo ilegal mediante distorsiones a la finalidad original. Estos bonos han surgido de la Teoría de Juegos como una solución racional, pero no ha tenido en cuenta el comportamiento egoísta racional del ser humano.

(3) Incorporar Costos Externos. Los costos internos de un producto son los que fijan el precio y, en general, los costos externos no están contemplados. Por ejemplo, una fábrica de baterías tiene sus costos internos (los componentes químicos) con los que fijan el precio, pero no contabiliza los costos externos (la contaminación posterior al uso del producto o el reciclado), de los cuales se desentien-

de. La economía ambiental considera que el precio de un producto debe contemplar ambos costos, extendiendo la responsabilidad del fabricante hasta el reciclado del producto usado. La minería a cielo abierto tiene subvenciones (beneficios) para explotar un recurso natural que requiere mucha inversión inicial. Pero no tiene impuestos especiales por la contaminación que deja a lo largo de la operación. La sociedad paga por la limpieza de la contaminación (costo externo), incluidos aquellos que no usan los productos. De allí la propuesta de considerar el costo total, incluyendo los "costos externos" (las externalidades) y la "responsabilidad extendida" del fabricante (reciclado y descontaminación).

(4) Algunos llaman a un cambio impositivo mucho más profundo: reemplazar los impuestos a la renta y ganancias por impuestos al consumo de materia prima y energía. El IVA (Impuesto al Valor Agregado) es un impuesto al consumo genérico con algunas excepciones (cultura y medicina), pero incluso grava a los consumos que benefician al ambiente (energía solar). Un cambio por el estilo podría afectar al libre comercio, ya que los países que adopten normas de protección al ambiente tendrían costos más altos. Un ejemplo puede ser la "ganadería de pastizal", que produce productos más amigables con el ambiente (mayor prestigio) a un valor más elevado. Otra alternativa propuesta son las Cuotas a los Usuarios ("tarjeta de racionamiento"). Se entregan cuotas de consumo que puede ser comercializado si no se utiliza. Es una variante interesante porque el beneficio lo maneja el usuario final y no la industria. Si el usuario consume productos de baja emi-

sión, premia al industrial y se beneficia con la reventa de las cuotas sobrantes.

(5) Bonos de Prevención. En este sistema se compensa económicamente a quienes plantan o conservan plantaciones de árboles o determinados servicios ecosistémicos. Por ejemplo, Costa Rica implementó un impuesto del 3,5% a los combustibles que se usa en la conservación de bosques. Los propietarios de tierras reciben un dinero por cada árbol que plantan. Permitió aumentar la cobertura de bosques desde el 21% en 1985, al 52% en el 2012. En una década fijaron 90 MtCO₂ mediante la forestación. El argumento usado es excitante: un propietario decide cuidar un bosque que retiene el agua y preserva el ambiente que sirve para llenar un embalse. Este embalse se usa para generar electricidad. ¿Por qué razón el usuario final abona el costo de la energía eléctrica al propietario del generador y no al que aporta el agua? En suma, de esto se trata pagar por los servicios ecosistémicos.

(6) También se propone cambiar el concepto de "seguridad nacional" por el de "seguridad ambiental". Todos estamos dentro de la biosfera y la degradación que producen unos afecta a todos. Si una nación decide no hacer nada para reducir sus emisiones que perjudican a los vecinos; se convierte en un problema de seguridad externa. En cambio, si decide aplicar medidas en forma unilateral, pierde competitividad y se convierte en un problema de seguridad interna. Este era el razonamiento de Estados Unidos cuando exigía que China e India fueran incluidas en la reducción del Protocolo de Kioto.

¿Qué hacer? (v): Cambios de conducta y ética

El premio Nobel de Química (1996) R. Smalley ordenó lo que estima los 10 principales problemas de la humanidad para los próximos 50 años de la siguiente forma: energía, agua, alimentos, ambiente natural, pobreza, terrorismo, enfermedades, educación, democracia y población. Sea o no este el orden de importancia, la enumeración ayuda a entender los desafíos. En el 2008 la Represa de Salto Grande estaba tan baja que en Uruguay se discutió la prioridad de lo poco que quedaba: hidroelectricidad (produce el 50% de la energía de Uruguay), alimento (riego para la agricultura) o agua potable. Las 3 primeras prioridades.

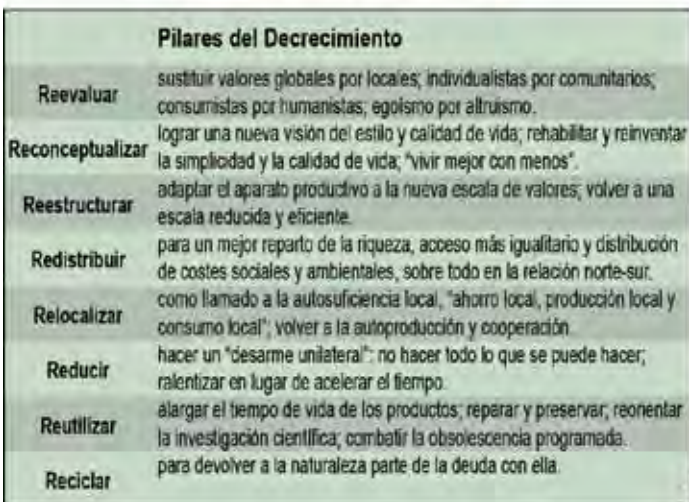
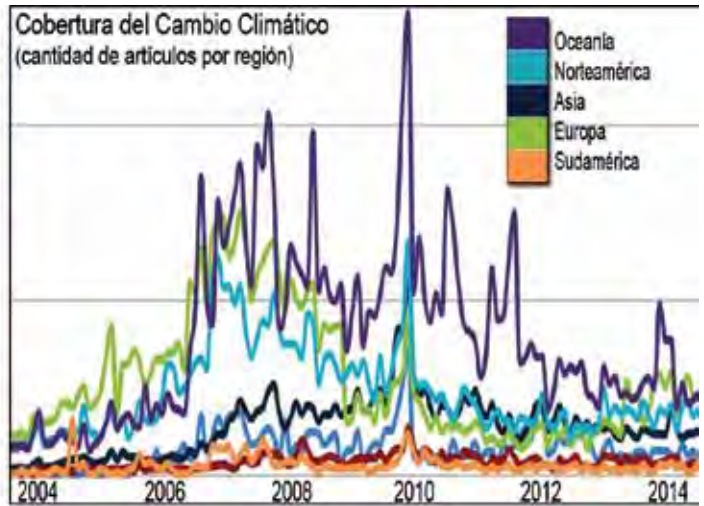
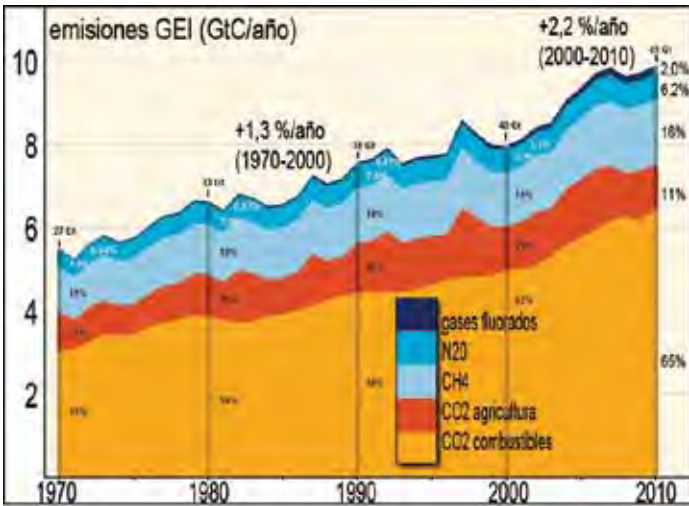
Ética Cambio Climático (ECC). La clave para conseguir una conducta más responsable de toda la humanidad es el conocimiento. Es lo que permite aplicar conceptos éticos acordes con la magnitud del daño. El cambio climático genera un problema de ética. La ética tiene como objetivo analizar y emitir un juicio de valor (bueno-malo) sobre las conductas conscientes y libres (bajo control racional). La ética aparece porque hay intereses contrapuestos y cambia entre países, culturas y etapas históricas, incluso en nuestras diferentes etapas de la vida. Considere los cambios éticos sobre la esclavitud y las minorías en el pasado, y ahora considere cómo evaluarán en el futuro las actuales conductas relacionadas con el ambiente. Cada acción que se analice produce un efecto sobre los vecinos. ¿Cómo se vive el dilema donde mi conducta de consumo afecta a los demás y la conducta de ellos me afectan a mí?

Para algunas ramas profesiones la ética es coercitiva. Se dictan reglas normativas con principios de aplicación obligatoria y perdurable

en el tiempo. Por ejemplo, el Juramento Hipocrático, la base ética de los profesionales de la salud, proviene de hace 2.500 años. Tal el caso de la obligación de mantener un secreto profesional. La ECC deberá sufrir ajustes en la medida que el conocimiento se profundice y se divulgue, y será aplicable sobre quienes estén informados de las consecuencias de sus actos. Las leyes, en cambio, se aplican aun ante el desconocimiento. Con el auxilio de las ciencias se entienden las causas y efectos del cambio climático; pero, decidir qué hacer, no es cuestión de ciencia, sino de ética.

La ECC es también la ética de la huella ecológica; porque la conducta de consumo es la responsable del cambio climático. Se dice que "el planeta no es una herencia de nuestros padres sino un préstamo de nuestros hijos", lo cual introduce un efecto temporal sobre la ECC entre generaciones. Pero además existe una cuestión espacial debido al desarrollo diferente entre regiones del planeta. Los países ricos emiten más contaminantes que los pobres. ¿Cómo debería compensarse esta diferencia? El protocolo de Kioto pide la reducción de las emisiones, en tanto se habla de adaptación y mitigación de los daños.

A nivel individual, la ECC evalúa nuestras acciones de consumo. El ahorro de energía y postergar el consumo se consideran virtuosos. Sin embargo, el "ahorro" tiene algunos aspectos cuestionables dependiendo de cómo se realiza. Un ejemplo son las "horas extras" para ahorrar un excedente. El problema reside en que se produce un adicional, lo que acelera el cambio climático. Además, ¿Qué ocurre si se ahorra



1451. ¿Qué hacer? Las emisiones de gases GEI mantienen un incremento constante (arriba-izquierda), pero el interés del público, medido como cobertura mediática, no responde de la misma forma (derecha). El problema parece ser demasiado extendido (global), a muy largo plazo (décadas), con incertidumbres científicas, intereses políticos y muchos actores (7.300 millones de habitantes), lo que desalienta la participación. La "Perspectiva: un planeta" de la WWF, promueve las acciones necesarias para retornar al consumo de lo que produce el planeta Tierra. Los 5 ejes de acciones son un resumen de las mejores ideas (centro-izquierda). Se muestra una comparativa de escenarios sobre las especies (derecha). El decrecimiento es una línea de pensamiento que descrea del crecimiento permanente e invita a reducir el consumo y adoptar costumbres de bajo impacto. Se muestran los pilares del decrecimiento (abajo-izquierda) y una caricatura de apoyo (derecha). El decrecimiento promueve el "localismo" (producción y cultura de la comunidad) frente a la globalización. Apuesta a ser parte del "paisaje local" con la agricultura y la naturaleza en convivencia y respetando los derechos de la tierra. Algunos identifican una tendencia a revoluciones localizadas, el auge del nacionalismo y una constante revisión de las fronteras con la creación de nuevas naciones (en 1945 existían solo 50 naciones). El "localismo" aporta comunidades autosuficientes, abastecida de alimentos estacionales y con necesidad de mucho conocimiento. En cambio el "globalismo" tiene diversidad de alimentos basado en el transporte y el comercio global; con grandes productores de alimentos pero menos transparente en las formas de producción.

en oro, que tiene una culposa huella de carbono debido a la minería a cielo abierto? Entonces, "ahorrar" no necesariamente es bueno; lo bueno es no consumir.

Una nueva "ética individual" debería incluir el precepto de no infligir dolor o sufrimiento a otros seres vivos; dejar la Tierra en las condiciones que la encontramos o mejores; no emplear más recursos de los necesarios y trabajar para cicatrizar cualquier herida (huella) que hayamos causado. Una investigación preguntó sobre las preferencias políticas y las razones por las cuales reciclar. Los denominados "liberales" se centraron en la equidad y reducción del daño. Los "conservadores" se centraron en cumplir las ordenanzas y la pertenencia al grupo. Esto ayuda a comprender como llegar con el mensaje a toda la gama de público en forma diferenciada. A nivel gubernamental la agenda incluye las medidas de mitigación y adaptación. La mitigación se ocupa de la reducción de riesgos y la acción humanitaria ligada a los desastres (sequías, inundaciones). La adaptación apoya la habilidad para manejar los riesgos y está acompañada por la adecuación, que es la elección de un estilo de vida sustentable de baja emisión. A nivel empresarial también existen herramientas apropiadas.

Responsabilidad Social Empresaria (RSE). La RSE se define como las contribuciones que una empresa realiza en forma activa y voluntaria para el mejoramiento social o ambiental (dos patas de la sostenibilidad). La RSE va más allá de cumplir con las leyes sociales y ambientales, las cuales son obligatorias; se refiere a acciones extraordinarias pero frecuentes. Esto dio lugar a un dilema: es peligroso que las corporaciones poderosas se inmiscuyan en temas sociales y ambientales y, a la vez, también es peligroso que solo se dediquen a maximizar las ganancias económicas.

La RSE es un concepto que surge a fines del siglo XX y evoluciona muy rápido. El objetivo es mejorar la percepción que la sociedad tiene de cada empresa en particular y es un vehículo para forjar una ECC empresaria. En una encuesta global, el 82% de las empresas en la Argentina dijeron que realizan RSE "porque es lo que se debe hacer". A la vez, se encuentra en el sexto lugar de los países cuyas empresas valoran la gestión de costos y la eficiencia energética. Esto evidencia una tendencia hacia lo moralmente correcto, aunque muy poco se hace en materia de energías renovables. A nivel global, el 31% de las empresas informan de sus actividades sustentables. Pero en muchos casos se trata de unas pinceladas de "pintura verde" sobre el viejo empaque.

Una investigación global estudió a 3.005 empresas entre 2004 y 2010. Se asignó un puntaje de RSE (1-10) en base a los factores de riesgo social y ambiental, relaciones laborales, seguridad, política de riesgo ambiental. En paralelo se analizó el valor bursátil y se concluyó que las empresas con mayor RSE tenían menor variación bursátil, lo cual redundaba en menor riesgo empresarial. En otra investigación se encontró que las "empresas verdes" son más requeridas para trabajar. Estas empresas adoptan alguna de las certificaciones "fair trade", "organic" o ISO-14.001. No solo son más requeridas para trabajar, sino que los empleados trabajan más horas en forma voluntaria. Es un círculo virtuoso, donde se atrae a los mejores recursos humanos.

Responsabilidad a futuro. A la ECC de carácter individual (basada en la reducción de la huella ecológica) y empresarial (basada en la RSE), se suma la gubernamental. La responsabilidad de mirar a futuro es de los estados y son quienes tienen las herramientas compulsivas

para orientar el desarrollo y consumo. Hoy se consumen recursos naturales que no van a estar disponibles para las próximas generaciones. Pero también, esas generaciones podrían tener un nivel de vida superior al actual gracias a nuestro avance científico. ¿Cómo compatibilizar ambos aspectos? El desarrollo puede evitar muertes hoy, pero produce un calentamiento global que podría ser la causa de muertes en el futuro. ¿Cómo se evalúan las muertes en el presente y las posibles del futuro? ¿Tienen el mismo valor?

¿Cuánto debe invertir el estado, medido en porcentaje del PBI, para controlar el calentamiento global? El Informe Stern menciona el 1% del PBI global al año. Si se valora mucho a las próximas generaciones se debe invertir un alto porcentaje del PBI actual. En todo caso, al asignar un valor del PBI para beneficiar a las generaciones futuras se hace una elección ética. Un proyecto industrial actual puede ser económicamente redituable (los beneficios superan a los costos), pero los GEI perjudicarán a muchos que no se benefician. Esta es una limitación ética (no económica) al proyecto. Sopesar los beneficios de unos contra los costos de otros es una cuestión ética.

Las teorías del valor discrepan sobre cómo distribuir los beneficios. El Utilitarismo asigna el mismo valor sin importar como es la distribución en la sociedad. Tiende a maximizar los beneficios (felicidad, placer) o reducir los costos (daño) para el máximo número de personas. Es la "teoría del derrame", donde los beneficios llegarán a todos lados ya que se derrama en las diferentes capas de la sociedad. En cambio, el Prioritarismo asigna mayor valor social cuando los rendimientos se distribuyen beneficiando a los más pobres. Pero aquí surge una paradoja con el futuro y la ECC. Nosotros seríamos los pobres frente a los ricos del futuro. Entonces, el prioritarismo podría conducir a demorar las inversiones necesarias para reducir los GEI. Aunque, a la vez, exige más a los países ricos de hoy que a los pobres. En el extremo, ¿Qué ocurre si el daño es tan elevado que se produce una catástrofe climática? En este caso los ricos del futuro no existirán y los únicos ricos estarán en nuestra generación.

Se nos pide una respuesta a la pregunta, ¿Cuánto se está dispuesto a sacrificar hoy para compensar el daño al futuro? En la vida silvestre la conducta altruista de cooperación se produce en especies donde la reciprocidad es una garantía para sacrificar parte del beneficio propio. Por ejemplo, miembros de una comunidad que no se reproducen y ayudan a criar los hijos de otros. La cercanía genética garantiza la propagación de los genes y así la reciprocidad está asegurada. Pero, en los humanos existen diferencias: las generaciones futuras no toman parte en las decisiones y la decisión de adherir es voluntaria, al no ser genética, no resulta obligatoria. Una minoría egoísta puede dar por tierra la acumulación de la mayoría. Pero, en la vida silvestre esto no puede ocurrir. En la ECC, para garantizar un sacrificio de esta generación para las futuras debe hacerse a nivel gubernamental y en forma obligatoria.

La resiliencia es un término de la física clásica para denominar la capacidad de un material elástico para absorber y almacenar energía de deformación (p.e., las cuerdas de goma). En psicología, la resiliencia hace referencia a la capacidad humana de asumir con flexibilidad situaciones límite y sobreponerse a ellas. Según el Banco Mundial por cada dólar invertido en resiliencia supone un ahorro de 7 dólares en respuesta de emergencia. La resiliencia pone en valor la capacidad de la población para hacer frente a las crisis: las personas dejan de ser

sujetos pasivos de la ayuda y se convierten en agentes activos de su propio desarrollo y respuesta.

La declaración de Luxemburgo. En el 2011 un panel de expertos en población y desarrollo concluyó que el centro del desafío es identificar las subpoblaciones que más contribuyen a la degradación del ambiente y las que son más vulnerables (edad, sexo, educación, residencia, ingresos). Luego, diseñar políticas para el tratamiento de esas subpoblaciones de acuerdo con la demografía y comportamiento. Invertir en capital humano (educación, salud y reproducción) y acelerar las transiciones a tecnologías verdes y adaptación al cambio ambiental. En definitiva, los riesgos no están distribuidos en forma uniforme y debe actuarse con las subpoblaciones de mayor urgencia. El desarrollo sustentable no debe tomar a la población como un problema, sino como un recurso para la sostenibilidad.

Perspectiva WWF. Una guía de resumen de ideas está en el Informe "Planeta Vivo 2012" (WWF). Presenta un aporte a la sustentabilidad global bajo el nombre "Perspectiva: Un Planeta" en la que se impulsa a reducir la huella ecológica al valor de la biocapacidad de la

Tierra. Se resumen en 5 ejes de trabajo:

(1) Protección del capital natural. Aumentar la red mundial de áreas protegidas hasta el 20%; detener la pérdida de hábitats prioritarios como humedales y bosques; restaurar los ecosistemas y servicios ecosistémicos dañados. La propuesta es llegar al 2020 con un estado de "deforestación y degradación cero" en los bosques naturales, donde cualquier pérdida debe ser compensada. El CBD (*Convention Biological Diversity*) acordó objetivos para el 2020 del 17% en superficie protegida y 60% en especies vegetales.

(2) Producir mejor. Reducir los insumos y desechos de los sistemas productivos; gestionar los recursos naturales en forma sustentable; evitar la sobrepesca; reducir el consumo de agua y aumentar el consumo de energías renovables.

(3) Consumir responsablemente. Cambiar el modelo de consumo energético; promover patrones de alimentación saludable tendiente a la alimentación vegetal y sin residuos; adoptar un estilo de vida de baja huella ecológica y utilizar productos certificados.



1452. Los extremos. En los extremos de espectro de opiniones se encuentran los "negacionistas" y los "ecoterroristas". El grupo de "negacionistas del cambio climático" disponen de pocos argumentos (centro-derecha) de forma que enfrentan en forma de minoría al consenso científico. Disponen de sitios web y publicaciones donde desarrollan sus argumentos, la mayoría de las veces ligados a los beneficios del CO₂, mirándolos en forma aislada de los problemas asociados. En el otro extremo están los grupos ambientalistas de acción directa. Como ejemplo, la *Sea Shepherd* (abajo-izquierda) se ocupa de casos ligados a violaciones en alta mar, lugar donde las leyes son muy vulnerables. En la fotografía se observa el hundimiento del pesquero ilegal Thunder en el Atlántico Sur en 2015. Otros grupos (derecha) están ligados al anarco-ambientalismo. Se mencionan en este rubro a *Earth First* y ELF (*Earth Liberation Front*) que utilizan el sabotaje económico y la guerrilla para detener la destrucción del ambiente. Se denominan una organización de eco-resistencia.

(4) Reorientar los flujos financieros. Poner en valor la naturaleza (producción de vida silvestre); medir el valor económico y no-económico del capital natural y contabilizar los costos ambientales y sociales; recompensar la conservación, innovación y gestión sustentables a la vez que se quiten subsidios a las industrias no-sustentables. Según el CFI (Banco Mundial) las empresas que demuestran preocupación ambiental y social tienen un 11% más de retorno en las inversiones.

(5) Gobierno equitativo. Compartir los recursos disponibles; medir el éxito más allá del PBI, incluyendo índices sociales y ambientales; asegurar una población sustentable tomando medidas de salud reproductiva; limitar la expansión descontrolada de las ciudades; apoyar la agricultura urbana y la gestión de las aguas residuales; transformar las áreas urbanas en ciudades inteligentes.

El decrecimiento. Esta corriente de pensamiento indica que el crecimiento agota las reservas naturales y no es sustentable. La sociedad del crecimiento no es deseable porque genera desigualdades y un bienestar ilusorio. En cambio, promueve el "decrecimiento", también llamado "a-crecimiento" en el sentido de "a-teísmo económico". Para el decrecimiento el "desarrollo sustentable" es un oxímoron (dos conceptos que se contraponen), tanto como "guerra limpia" o "agricultura ecológica". Los pilares del decrecimiento se basan en el uso del prefijo "re" (opuesto a "hiper").

(1a) Reevaluar: para sustituir los valores globales por locales; los individualistas por comunitarios; los consumistas por humanistas; el egoísmo por altruismo. Se trata de desmitificar la religión del consumo: riqueza, progreso y desarrollo. (1b) Reconceptualizar: para lograr una nueva visión del estilo y calidad de vida; rehabilitar y reinventar las tradiciones de simplicidad para orientarnos hacia la preservación de la naturaleza, las relaciones humanas y la calidad de vida. Se dicen "objetores del crecimiento" y proponen encontrar un nuevo punto de equilibrio entre la economía y la naturaleza. Promueven "vivir mejor con menos".

(2a) Reestructurar: para adaptar el aparato de producción y las relaciones sociales a la nueva escala de valores; reencontrar una huella ecológica inferior a "un planeta"; volver a una escala reducida y eficiente. La agricultura debe dejar de ser una fábrica de alimentos y respetar el ciclo de la naturaleza. (2b) Redistribuir: para un mejor reparto de la riqueza, acceso más igualitario y distribución de costes sociales y ambientales, sobre todo en la relación norte-sur. (2c) Relocalizar: como llamado a la autosuficiencia local, con el principio de "ahorro local, producción local y consumo local"; volver a la autoproducción y cooperación (p.e., generación energética); disminuir el consumo en transporte con el concepto de "quien contamina paga"; aplicar ecoimpuestos proporcionales a la potencia y emisión de CO₂.

(3a) Reducir: como un cambio de estilo de vida, del consumista a una vida sencilla. Hacer un "desarme unilateral", para no hacer todo lo que se puede hacer. Ralentizar en lugar de acelerar el tiempo, como tendencia a la "reducción de marcha" (*downshifting*). Hacer hincapié en que las mejores cosas de la vida son gratis y el regalo más importante es el tiempo. (3b) Reutilizar: alargar el tiempo de vida de los productos para evitar el consumo y despilfarro. Reparar y preservar. Reorientar la investigación científica, con una moratoria sobre innovación tecnológica, para combatir la obsolescencia programada. Promover la durabilidad, sobriedad e intercambio. (3c) Reciclar: para devolver a la naturaleza parte de la deuda con ella.

Las críticas al decrecimiento vienen de varios frentes. Desde el liberalismo suponen que la "ley de la oferta y la demanda" producirá por autorregulación del mercado las correcciones pertinentes. Otras críticas son desde el optimismo científico-tecnológico, basadas en los avances de la informática, nanotecnología, genética, etc. El propio marxismo confía en la productividad humana para seguir el crecimiento. Además, los países pobres reclaman su cuota de crecimiento para lograr la prosperidad.

La encíclica del Papa. La iglesia católica se vio en la necesidad de dar su palabra mediante la encíclica papal del 2015 ("*laudato si*", alabado seas) relacionada al ambiente: Los puntos destacados son los siguientes. (1) La tradición cristiana nunca reconoció como absoluto o intocable el derecho a la propiedad privada. (2) Si la actual tendencia continúa, este siglo podría ser testigo de cambios climáticos inauditos y de una destrucción sin precedentes de los ecosistemas, con graves consecuencias para todos nosotros. (3) Llama la atención la debilidad de la política internacional. El sometimiento de la política ante la tecnología y las finanzas se muestra en el fracaso de las cumbres mundiales. Hay demasiados intereses particulares y muy fácilmente el interés económico llega a prevalecer sobre el bien común y a manipular la información para no ver afectados sus proyectos. (4) El gemido de la hermana tierra se une al gemido de los abandonados del mundo. (5) Es previsible que, ante el agotamiento de algunos recursos, se vaya creando un escenario favorable para nuevas guerras, disfrazadas detrás de nobles reivindicaciones.

(6) Hay que eliminar las causas de las disfunciones de la economía mundial y corregir los modelos de crecimiento que parecen incapaces de garantizar el respeto del medio ambiente. (7) El enorme consumo de los países ricos tiene repercusiones en los lugares más pobres, sobre todo África, donde el aumento de la temperatura unido a la sequía hace estragos en el rendimiento de los cultivos. (8) La tierra, nuestra casa, parece convertirse cada vez más en un inmenso depósito de porquerías. (9) Conviene evitar una concepción mágica del mercado, que tiende a pensar que los problemas se resuelven sólo con el crecimiento de los beneficios de las empresas o de los individuos. ¿Es realista esperar que quien se obsesiona por el máximo beneficio se detenga a pensar en los efectos ambientales que dejará a las próximas generaciones? (10) Sabemos que la tecnología basada en combustibles fósiles son muy contaminantes y necesita ser reemplazada progresivamente y sin demora. Mientras no haya un amplio desarrollo de energías renovables, que debería estar ya en marcha, es legítimo optar por lo menos malo o acudir a soluciones transitorias.

(11) Las finanzas ahogan a la economía real. No se aprendieron las lecciones de la crisis financiera mundial y con mucha lentitud se aprenden las lecciones del deterioro ambiental. En algunos círculos se sostiene que la economía actual y la tecnología resolverán todos los problemas ambientales. (12) Dado que todo está relacionado, tampoco es compatible la defensa de la naturaleza con la justificación del aborto. No parece factible un camino educativo para acoger a los seres débiles que nos rodean, que a veces son molestos o inoportunos, si no se protege a un embrión humano aunque su llegada sea causa de molestias y dificultades.

Los "negacionistas". Los argumentos que se usan para resistir el cambio de conducta son varios:

un planeta

(1) Negación del problema. El primer argumento niega o relativiza el problema: "el calentamiento global no está ocurriendo"; "es una conclusión controversial y apresurada"; "si está ocurriendo no es culpa nuestra, es un proceso natural"; "no hay nada que podamos hacer"; "un poco de calentamiento global es beneficioso"; "necesitamos más tiempo de estudio"

(2) Amor al CO₂. Este argumento se fundamenta en el estudio de los niveles de CO₂ geológico, que lo ubica en niveles muy altos en los Períodos de alta actividad biológica. Son comunes los siguientes argumentos: "el CO₂ no es contaminante, no es tóxico ni venenoso." "El CO₂ es el 5% del aire que expiramos y es el 0,04% en la atmósfera." "Mayor cantidad de CO₂ aumentará la actividad vegetal, es un gas beneficioso." Este argumento oculta en parte que el problema nace de las consecuencias de otros contaminantes asociados, la relación con la temperatura y la variación rápida que impide la adaptación.

(3) Daño a la economía. En otros casos se alerta sobre las consecuencias de actuar: "la acción podría dañar las economías nacionales". Se suele observar bajo el ropaje de "este no es el mejor momento". En realidad nunca será un buen momento y las tensiones se acumulan con el tiempo. ¿Quién va a dar las malas noticias?, claramente no son los políticos o industriales; serán los científicos a quienes se denominará "activistas". En otras palabras: "si estamos confortables, por qué alterarlo".

(4) Optimismo por el futuro. Este argumento dice que "tenemos que esperar que maduren las nuevas tecnologías", "el costo es muy alto por el momento", "se están desarrollando tecnologías muy prometedoras". La tecnología nos va a salvar a mediano plazo. El optimismo se refleja en pensar que lo estimado para el año próximo (el presupuesto)

será mejor que el resultado del año anterior (el balance). Nunca un *budget* a futuro será peor que el balance de los años anteriores.

(5) El argumento de la "condicionalidad" nos dice: "no voy a actuar solo; solo actuaré junto con otros; solo si todos actuamos juntos". Esto lleva a esperar una acción conjunta y mancomunada y siempre exigiendo más condiciones para actuar.

(6) Un argumento "humanitario" nos dice: "¿Por qué preocuparse por las generaciones futuras si hoy tenemos ese problema?"; "¿Qué pasa con el tercio de la población actual que no tiene las necesidades básicas satisfechas?", "los países ricos ya contaminaron y ahora le toca a los pobres". En forma muy similar se podría argumentar a favor de la energía nuclear: "¿Por qué preocuparse tanto por los 10.000 años de actividad de los residuos radiactivos, si el CO₂ del petróleo está contaminado el planeta hoy?"

En suma. El cómo se debe proceder es una respuesta personal. Algunos proponen evitar la trampa del pesimismo (desesperanza y fatalismo) ya que "el desastre no está garantizado". Eludir la parálisis esperando un tiempo para tener más información o el optimismo de que la tecnología nos salvará. No existen soluciones fáciles y completas. Otros indican que es imposible abarcar todas las cosas que hay que hacer. Se debe seleccionar aquellas en las que estamos capacitados y actuar con esperanza. Se dice: pensar globalmente (cambio climático) y actuar localmente (el lugar que nos ocupa preservar). Tampoco hay una solución única a los problemas ambientales; no tenemos la razón en todo; estamos todos juntos y debemos buscar soluciones flexibles y adaptables. Otros dicen que en lugar de movilizar con el miedo al desastre, debemos movilizar con razones racionales y eficaces, para vivir en un mundo sustentable. No es por miedo, sino por amor.



SECCIÓN 2 ENERGÍA

Fotografías satelitales de Google Earth (<https://earth.google.com/>). Desde arriba hacia abajo.

Área de explotación de gas al oeste de Comodoro Rivadavia (Chubut).

Mina Bajo Salar del Hombre Muerto para obtener litio en Catamarca.

Central de energía solar fotovoltaica (derecha) junto a frutales (izquierda) en San Juan.

Represa Los Caracoles en 3003 y 2013 al oeste de la ciudad de San Juan.

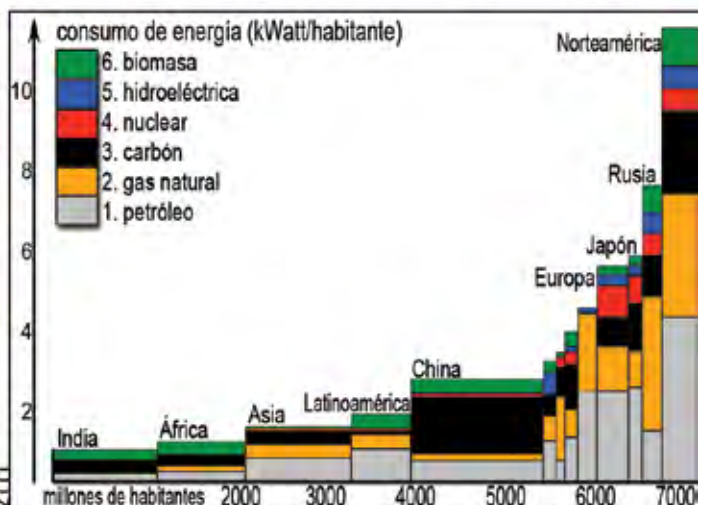
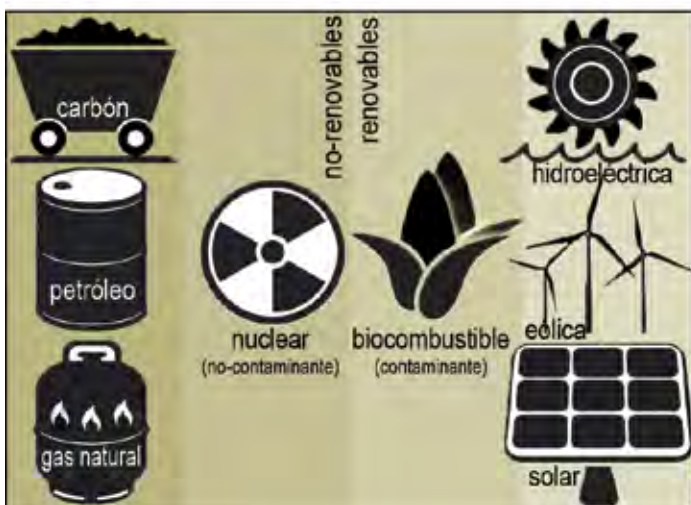
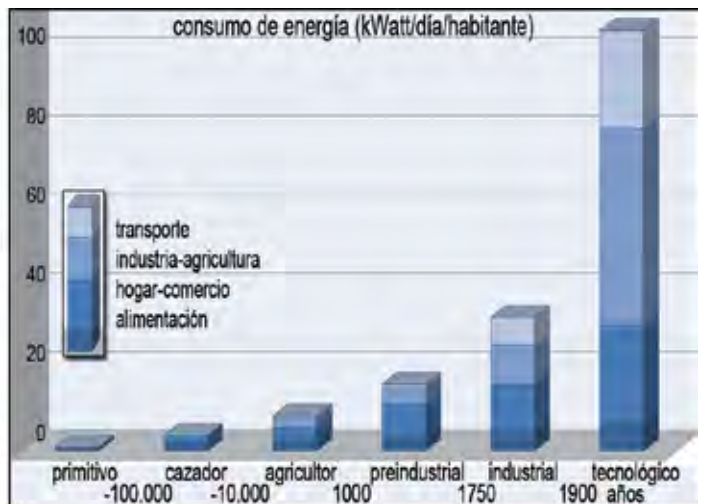
Central Puerto térmica de generación eléctrica en ciudad de Buenos Aires.

El abanico de las "fuentes" de energía

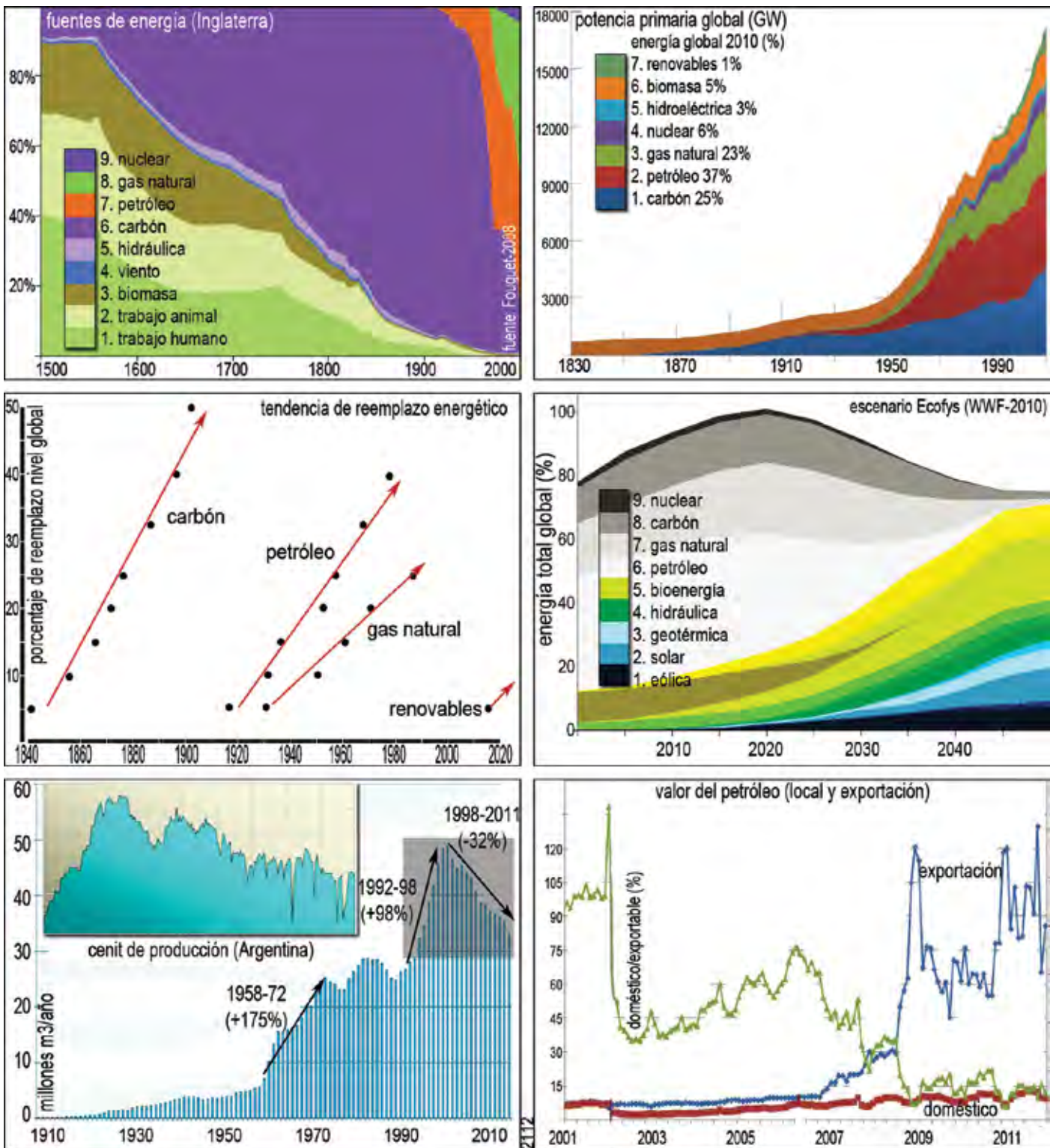
Las denominadas "fuentes de energía" no son otra cosa que "transformaciones"; toda la energía del universo está disponible desde el big bang y no se crea nueva energía. Las primeras fuentes de energía usadas por el hombre fueron renovables, aunque limitadas en cantidad: la fuerza (humana y animal) y la biomasa (madera). El avance de la revolución industrial se produjo gracias a las fuentes no-renovables que se encuentran en cantidades abundantes, pero finitas. Son del tipo fósil (carbón, petróleo y gas) y nuclear. Hoy día se está desplegando una nueva gama de fuentes renovables que sustituirán a las actuales. Dentro de la gama están las contaminantes (biomasa, biocombustibles) y no-contaminantes (hidráulica, solar, eólica, geotérmica, marinas, hidrógeno). El término "renovable" hace referencia a la fuente de origen (el sol) que, a escala humana, es eterno e inagotable. Lo "no contaminante" es una utopía, ya que todas tienen efectos colaterales, aunque sean menores y tolerables.

Las fuentes fósiles. Los combustibles fósiles no son renovables y provienen de biomasa acumulada en trampas de sedimentos a lo largo de la historia de la Tierra. Contienen carbono en diferentes proporciones y durante la combustión con oxígeno liberan calor. La mayoría del carbón tiene su origen en el período Carbonífero (hace 359-299 Ma, millones de años) y la mayoría del petróleo y gas son del Mesozoico (169-89 Ma).

El carbón proviene de áreas con alta temperatura y humedad cubierta de bosques y pantanos. La madera fue enterrada por sedimentos y degradada por bacterias anaeróbicas (sin oxígeno) que actúan lentamente y producen gas metano. El aumento de la cobertura sedimentaria generó acciones físicas naturales (presión y temperatura) que produjeron cambios en las cadenas de carbono (craqueo natural). La madera tiene un 50% de carbono, 42% de oxígeno y 6% de hidrógeno; pero cuando se convierte en carbón la proporción de carbono aumenta a 75-90%.



2111. El consumo de la batería del planeta. El planeta acumuló energía en forma de combustibles fósiles desde hace 400 Ma cuando la vida explotó en riqueza y cantidad. La mayoría del petróleo (50%) es del período 169-89 Ma (arriba-izquierda). Los humanos estamos consumiendo esta carga de energía un millón de veces más rápido (400 años). A lo largo de toda la historia humana se tomaba energía solo para alimentación y comercio (derecha). Pero en la era industrial se consume cerca de 100 veces más energía por habitante. La mayoría de la energía actual proviene de combustibles fósiles, pero en unas décadas deberá volcarse a energías renovables (abajo-izquierda). Diferentes países o regiones tienen preferencias diversas sobre fuentes de energía (derecha). Por ejemplo, los países de Asia dependen mucho del carbón, pero el consumo por habitante es bajo frente a Europa y Estados Unidos.



2112. Historia y reemplazo de fuentes de energía. Las fuentes de energía se alternaron a lo largo de la historia (arriba). El trabajo humano y animal se reemplazó por biomasa muy lentamente. La Revolución Industrial fue posible gracias al reemplazo por carbón, petróleo y gas en forma escalonada en el tiempo. Hoy día ingresan las fuentes renovables. Para Inglaterra 1500-2000 se muestra el porcentaje de reemplazo (izquierda) y a nivel global-2010 se indica la distribución en porcentaje (derecha). La energía desde biomasa e hidráulica mantuvo una presencia importante en toda la historia. Sin embargo, la tendencia de reemplazo demora décadas, como se observa para las fuentes fósiles (centro-izquierda). Hacia el futuro (derecha) un escenario reemplaza las energías tradicionales por las renovables hacia 2050 al 95%. Se ampara en la eficiencia energética (igual consumo que en el 2000) y una red de transporte eléctrico global. Un reemplazo de las fuentes fósiles demasiado prolongado pone en peligro el ambiente. En la Argentina, el pico de extracción convencional de petróleo ocurrió en 1998 y desde allí la producción decreció en forma constante (abajo-izquierda). No se realizó un reemplazo sino que se recurrió a la importación. Luego, las esperanzas se pusieron en la fracturación hidráulica en Vaca Muerta. Una de las causas de la pérdida del abastecimiento fue una política de precios de producción que no favoreció nuevas inversiones (derecha). Pero, desde el punto de vista ambiental, la peor política fue la subvención al consumo, lo que resultó en una pésima enseñanza para generar responsabilidad por un consumo responsable.

El petróleo y gas natural tienen un origen diferente. Las cuencas marinas cerradas de poca profundidad y poco oxígeno, retenían la materia orgánica (microorganismos marinos como el plancton). Sucesivas capas de sedimentos tapaban los restos orgánicos y se impedía la degradación. Como en el carbón, la temperatura y presión dieron origen al petróleo y gas. Las refinerías de petróleo hacen un craqueo industrial para separar los distintos tipos de combustibles. El petróleo es muy variable, pero podría decirse que tiene una proporción de 2 átomos de hidrógeno por cada uno de carbono. Es decir, tiene una menor reserva de carbono que el carbón. El petróleo parte del betún (el más pesado) y se llega al gas metano CH_4 (el más liviano).

¿Existen lugares donde hoy se forman hidrocarburos como reservas para el futuro? La mayoría de las áreas naturales están intervenidas por las actividades humanas, lo que interfiere los procesos naturales. Los humedales y pantanos son lugares de formación de hidrocarburos. En el mar la degradación de algas y plancton cae a las profundidades y produce el hidrato de metano. De esta forma se generan bolsas de gas metano congelado, como en el Ártico actual. Con presión alta y temperatura baja se conservan por largos períodos de tiempo.

Las fuentes fósiles tienen ventajas incomparables: facilidad de extracción (aunque lo más accesible ya se obtuvo); gran abundancia (llevan más de dos siglos de explotación y hay reservas para mucho más tiempo); comparativamente son baratas (pero los costos de producción y ambientales son cada vez mayores); tienen usos diversos (combustible, plásticos y fibras); son fácilmente acumulables y transportables (tanques y cañerías); y están siempre disponibles (entregan energía en forma continua). Estas ventajas son un escollo para las energías renovables. La principal contraindicación es que producen un profundo impacto ambiental que pone en riesgo toda la civilización. Además, se agotarán, tarde o temprano. Son la mayor fuente de energía en la actualidad, pero a largo plazo deben ser reemplazadas.

El caso de la energía nuclear es intermedio. Es una fuente no-renovable, porque las reservas de minerales son limitadas. Pero, no genera gases efecto invernadero GEI como los combustibles fósiles. Permite obtener una producción continua de energía eléctrica, en contraste con la mayoría de las renovables. A cambio, produce residuos radiactivos para los cuales no existe aún una solución segura y tiene el peligro de los accidentes nucleares.

Las fuentes renovables. Cruzando la línea hacia las renovables se encuentra la materia orgánica (biomasa). Se puede utilizar en forma directa (madera) o convertida en biocombustibles (desde maíz, madera, algas). El problema es que producen gases GEI y en el caso de la madera, emite hollín y partículas sólidas. También se puede obtener energía a partir de los residuos urbanos y del lodo remanente de centrales depuradoras y potabilizadoras. Es cierto que estos combustibles emiten GEI, pero también se emiten si no se usan ya que la descomposición natural "contamina". El principal argumento en contra es cuando compiten con los alimentos (bioetanol desde el maíz).

Como las fuentes fósiles y nucleares son finitas y la biomasa es contaminante, el sistema debe colapsar y reemplazarse por fuentes renovables puras. Estas fuentes tampoco son infinitas (no hay infinito espacio para poner celdas solares) lo que coloca límites al modelo de desarrollo continuo. Un desarrollo sustentable debe contemplar un cambio de cultura energética: el uso de energías renovables y no con-

taminantes; la disminución de la demanda y la mejora del rendimiento; la explotación en forma extensiva (producción para autoconsumo) evitando los generadores centralizados con redes de distribución.

Las fuentes renovables son: la energía eólica (viento); solar fotovoltaica (para obtener electricidad); solar térmica (para calentar agua); geotérmica (calor desde el interior de la Tierra); hidroeléctrica (desde ríos y embalses); mareomotriz (desde las mareas); undimotriz (desde las olas); pilas químicas de hidrógeno. Hacia el año 2010 las fuentes de energía renovables representaban el 20% del consumo global eléctrico, del cual el 90% era hidroelectricidad. El resto era marginal: biomasa 5,5%, geotérmica 1,5%, eólica 0,5% y solar 0,05%. Entre los latinoamericanos, Costa Rica es el primer país que informó no requerir energía eléctrica desde combustibles fósiles. A inicios del 2015 y gracias a las lluvias que llenaron las represas pudo usar solo energía hidroeléctrica (80%), solar, eólica, geotérmica y biomasa, quedando las centrales térmicas solo como reserva. El objetivo es que sea seguro este suministro en el 2021.

Limitaciones de las renovables. Las fuentes renovables no-contaminantes disfrutaban de las ventajas de su nombre y apellido (son casi infinitas y casi no contaminan). Son el destino próximo de la energía, sin embargo, todas tienen desventajas frente a los combustibles fósiles: tienen un alto costo inicial (en descenso); dependen de la disponibilidad de la fuente de energía (viento, sol, agua) y tienen diferentes impactos ambientales (menores y tolerables).

(1) Energía solar. Es de dos tipos: pasiva como una disciplina de arquitectura (orientación y aislamiento de edificios) o activa mediante equipamientos colectores térmicos y fotovoltaicos. La energía solar térmica produce agua caliente: es la de menor impacto ambiental; son eficientes para abastecer el consumo de casas; pero se critica la estética. Las grandes centrales térmicas solares son recientes y complejas y pueden combinarse con sistemas de acumulación de energía para la noche y los días nublados. La energía solar fotovoltaica evoluciona reduciendo los costos y aumentando la eficiencia de los paneles. Sin lugar a dudas, es la fuente de energía del futuro.

(2) Energía eólica. Se obtiene mediante aerogeneradores que pueden ser pequeños para aplicaciones rurales y parques eólicos con decenas de equipos para la generación pública. Las objeciones son varias: la entrega de energía es aleatoria (por zona geográfica, topografía y obstáculos); producen un impacto ambiental durante la construcción; son criticados por la impresión visual y los ruidos de baja frecuencia (infrasonidos) y pueden ser una trampa para las aves y murciélagos.

(3) Energía geotérmica. Está disponible donde hay diferencia de temperatura vertical en el suelo. Se utiliza un intercambiador que envía el agua fría hacia la tierra y recibe agua caliente. No sufre alteraciones de generación diarias, pero puede ser nociva si se arrastran metales pesados y gases hacia la superficie. Se reportaron pequeños movimientos sísmicos como producto de alterar la estabilidad del subsuelo.

(4) Energía desde el agua. La energía hidroeléctrica mediante grandes represas tienen importantes ventajas pero son resistidas por varias causas: fragmentan el ambiente acuático; provocan pérdida de biodiversidad; impiden la migración de peces; podrían generar pandemias por estancamiento de aguas (fiebre amarilla y dengue); inundan

zonas con patrimonio cultural o paisajístico; desplazan poblaciones enteras y aumentan la salinidad de los cauces fluviales. En el mar la energía mareomotriz (uso de las mareas) tiene un impacto ambiental importante en las costas. La energía desde las olas (movimiento vertical) y corrientes marinas (circulación similar al viento) tiene menor impacto ambiental ya que se ubican alejadas de las costas.

(5) Pila de hidrógeno. Es una fuente sustentable si se genera mediante electrólisis a partir de fuentes de energías renovables. Funciona como almacenamiento, similar al gas natural. Las objeciones se basan en que no hay ninguna red de transporte para el combustible de hidrógeno; requiere un nuevo tipo de infraestructura; tiene una densidad energética más baja que el gas; el almacenamiento es más voluminoso y la conversión electricidad-hidrógeno-electricidad es poco eficiente.

Un conocimiento sesgado. Un estudio realizado en Dinamarca revisó las publicaciones científicas de 15 años a nivel global (4.500 artículos). Se encontró una supremacía técnica frente a los problemas sociales; un sesgo hacia la ingeniería (47%) y economía (20%); una

carencia de trabajos interdisciplinarios (23%); una elevada representación de los países ricos (87% de Norteamérica y Europa Occidental) y baja de mujeres (16%). Los temas poco frecuentados en la literatura incluyen: filosofía y ética referida a las próximas generaciones; comunicación y persuasión para generar un cambio de conducta; psicología social para moldear decisiones; antropología y cultura para comprender las diferencias temporales y regionales respecto a los servicios energéticos; respuesta de la comunidad a la innovación; relación entre energía y desarrollo para promover la reducción de la pobreza; externalidades para evaluar el costo de la pérdida del capital ecológico y ambiental.

Esto muestra que la tecnología y economía dominan los estudios, mientras que el cambio de hábitos, preferencias y elecciones individuales están menos estudiados. De las 90.000 citas en los artículos solo el 4,3% corresponde a revistas de ciencias sociales. Desde el punto de vista de la inversión en investigación, la relación es 35:1 (tecnología y economía en relación a conducta y demanda). La energía no debería ser un problema dominado por los ingenieros y economistas.

Comparación de las fuentes de energía

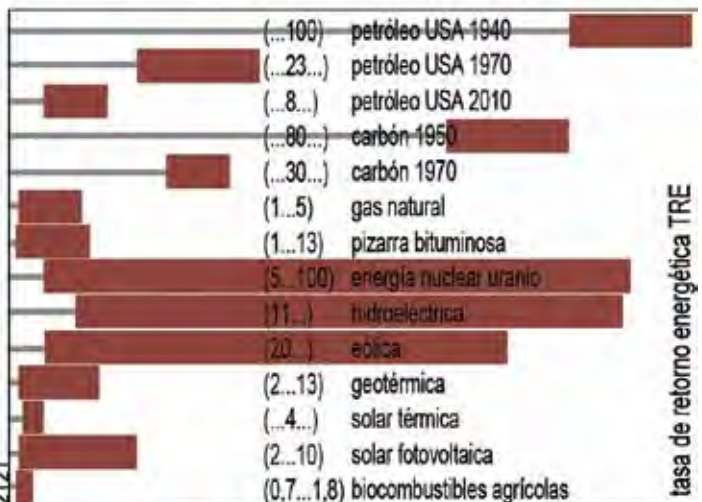
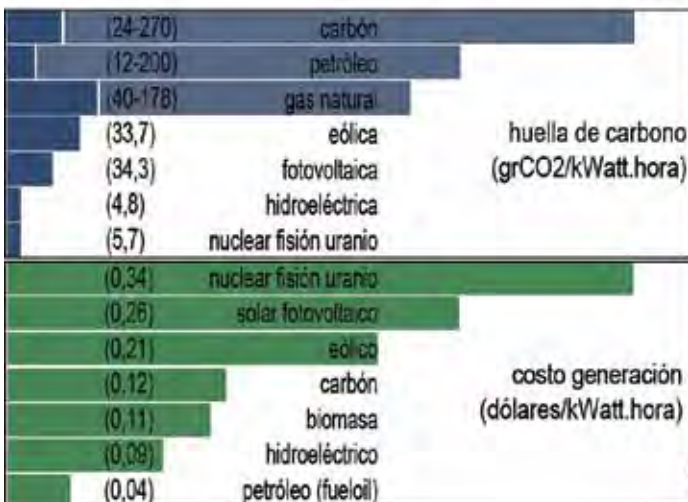
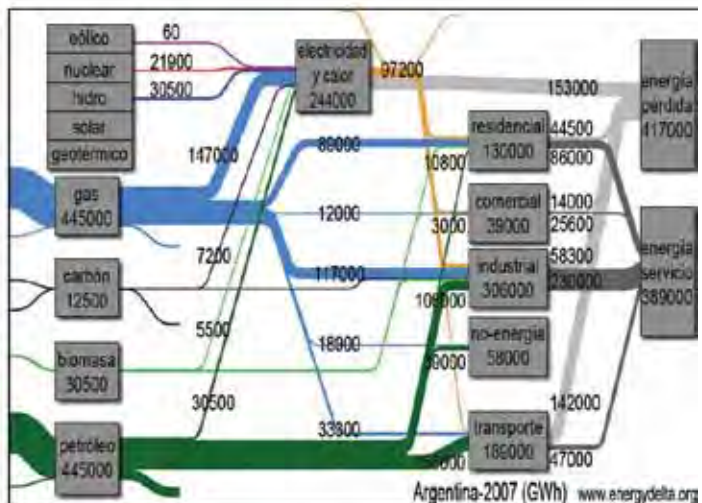
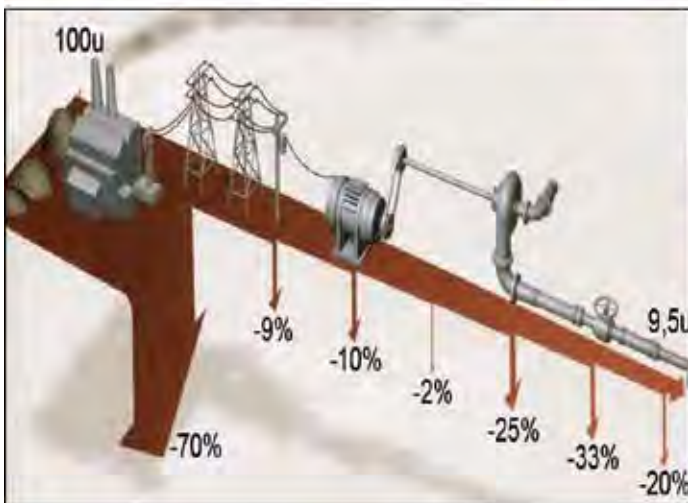
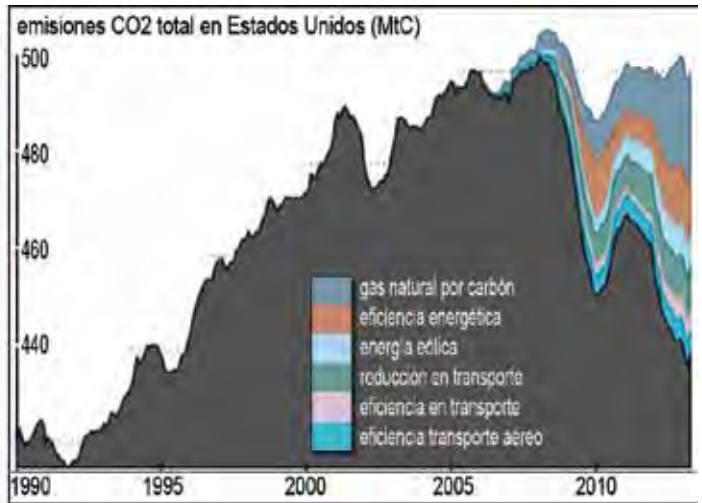
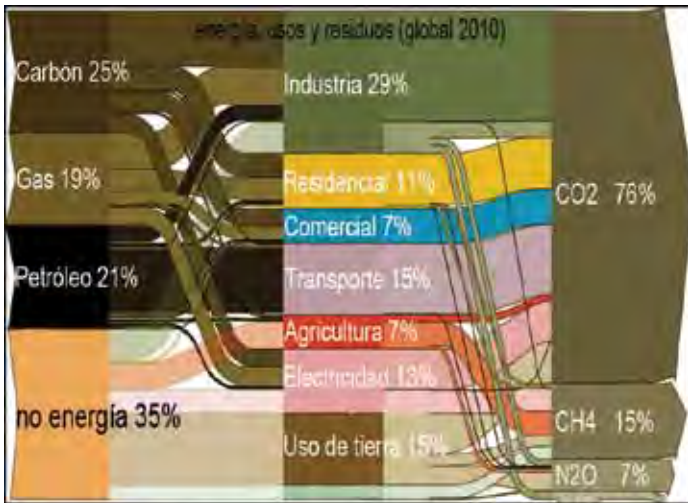
Puntos de vista. Al momento de planificar inversiones en fuentes de energía se requiere una comparativa de alternativas. Cada fuente de energía tiene ventajas y desventajas con una ponderación subjetiva y teñida por intereses empresarios. Podría resultar de utilidad una matriz de las alternativas de fuentes de energía contra indicadores diversos. Las fuentes de energía en danza son: no renovables (carbón, petróleo y gas); intermedias (biocombustibles y nuclear) y renovables (hidroeléctrica, eólica, solar, marina y geotérmica). Estas 10 fuentes genéricas pueden ser comparadas mediante indicadores directos y "ratios" entre indicadores. Por ejemplo, potencia (W); energía (Wh); costo monetario (dólares us\$); período de retorno financiero y ambiental en años; contaminación (CO₂) e impacto ambiental; eficiencia y capacidad de acumulación. También se prefieren ratios que resultan mejores indicadores: costo por unidad de potencia (us\$/Watt), huella de carbono (kgCO₂/W); tasa de retorno energético TRE (Watt obtenido por Watt invertido); ocupación laboral (mano de obra necesaria por unidad de potencia). Además, se tendrá en cuenta la evolución a futuro, ya que un indicador como el costo puede tener una tendencia a la baja (energía solar) o al alza (petróleo).

(1) Inversión por unidad de potencia (el costo financiero inicial). La *energía eléctrica* se mide en Watt-hora (1 Wh equivale a 3.600 Joules o 0,86 kilocalorías). Corresponde a la unidad de *potencia* (1 W) mantenida a lo largo de 1 hora. La crisis de energía en la Argentina a fines del 2013 puede servir de ejemplo. El Gobierno Nacional declaraba una capacidad de generación con una "potencia instalada" de 31.340 MW (MegaWatt) o 31,34 GW (GigaWatt). Sin embargo, cerca de 8 GW no estaban disponibles por mantenimiento o falta de combustible (agua en las represas). Se observó que 23 GW era el máximo de potencia ofrecida, pero además no podía mantenerse por mucho tiempo, por lo que no se lograba una energía de 23 GWh en forma permanente. Una máquina trabajando al máximo de potencia puede deteriorarse muy rápido. Cuando el consumo era superior a la capacidad de ge-

neración se programaron cortes en varias zonas del país; lo que se sumó a las fallas propias de la red de distribución en Buenos Aires por carencias en las inversiones a largo plazo. Por ejemplo, el 6 de enero 2014 se importó energía desde Uruguay (represa de Salto Grande) con potencia de 355 MW por un total de 3,8 GWh (cerca de 11 horas a la potencia indicada).

Para el costo por unidad de potencia la central nuclear Atucha-II puede servir de ejemplo. Se licitó en el año 1980 a 1.900 Mus\$ (millones de dólares) con una capacidad de 745 MW. Fue abandonada en 1989 y reiniciada en el 2006. Comenzó a generar energía en el 2014. Se estimó una inversión total acumulada de 3.500 Mus\$, lo que entrega un valor de 4,7 us\$/W instalado. En comparación la energía eólica y la solar fotovoltaica son más convenientes. Sin embargo, el tiempo de trabajo al año es muy diferente: un reactor puede operar el 80% del tiempo al año (20% de mantenimiento) y la energía eólica o solar es dependiente de la región donde se instala por disponibilidad de viento y sol. En el otro extremo una central térmica a base de combustibles fósiles, tiene un costo de 1,1 us\$/W, lo que daría un valor muy favorable de inversión y con una disponibilidad de trabajo muy alta. Sin embargo, debe adicionarse el valor del combustible para la generación térmica que mueve la turbina (carbón, gas o petróleo), valor que se desembolsa en la medida que se genera energía.

(2) Período de retorno (la recuperación de los costos). Se pueden definir 2 formas de repago: el ambiental y el monetario. El punto de vista ambiental se aplica a las energías renovables. Se define como el tiempo necesario para compensar las emisiones de CO₂ producidas durante la fabricación de los equipos y que son ahorradas durante el uso. Por ejemplo, un generador solar térmico (agua caliente domiciliar) se lo compara con un termotanque a gas o eléctrico. En la fabricación del equipo solar térmico se genera una cantidad de CO₂ que equivale a 1,5 años de consumo de gas en un termotanque convencional.



2121. Emisiones, eficiencia y fuentes de energía. Las fuentes de energía fósiles (carbón, petróleo y gas) se convierten en trabajo y gases efecto invernadero. A nivel global en 2010 (arriba-izquierda) el carbón fue la principal fuente utilizada con el 25%. El consumidor más importante fue la industria con 29%. El principal gas GEI fue el CO₂ (76%). Otras fuentes de CO₂ provienen de la agricultura y el cambio en el uso de la tierra (deforestación). En Estados Unidos, desde el 2005 se logró reducir las emisiones de CO₂ desde un máximo de 500 MtC a 440 MtC. Las razones son los programas de reemplazo (carbón por gas natural) y eficiencia (derecha). La eficiencia en la conversión de energía es muy baja (las pérdidas son muchas). Por ejemplo, desde la energía eléctrica a carbón hasta una bomba de agua se llega a perder cerca del 90% de la energía inicial (centro-izquierda). Para la Argentina en 2007, todas las fuentes de energía entregaron servicios y pérdidas casi por igual (derecha), en una relación servicio/pérdida similar para todos los países. El carbón mineral es la fuente más contaminante desde el punto de vista de la huella de carbono (abajo-izquierda). Las barras indican la huella inicial de la implementación (oscuro) y la que se produce durante la explotación por consumo de combustible (claro). La energía más costosa por unidad de potencia instalada es la nuclear. La tasa de retorno energética TRE (derecha) tiene una dispersión grande de acuerdo con los aspectos que se toman en cuenta en el cálculo. La TRE es la relación entre la cantidad de energía obtenida por cada unidad de energía invertida. El petróleo redujo la TRE desde 100 hasta 10; pero es aún menor en las explotaciones no convencionales.

La recuperación económica (tiempo de repago) tiene un cálculo dependiente de las tarifas de la energía en cada lugar. Se obtiene en base a cuánta electricidad se deja de consumir y el costo monetario equivalente. Por ejemplo, un equipo de energía solar fotovoltaica en Alemania se amortiza en algo menos de 7 años, pero en países con óptima irradiación solar se acerca al año. Teniendo en cuenta que la vida útil media es 20-30 años, estos equipos producen electricidad limpia durante la mayoría del ciclo de vida. A cambio, hay que afrontar una inversión inicial elevada, muchas veces solo posible gracias a subsidios.

(3) Eficiencia de conversión (la evaluación de las pérdidas). Lo que se denomina fuentes de energía, no lo son. La energía se convierte (no se genera) y se convierte con un grado de eficiencia muy pobre (con muchas pérdidas en calor). Una central eléctrica térmica (carbón, gas o diesel) tiene una eficiencia cercana al 40%. Además, las líneas de transmisión y distribución eléctrica pierden cerca del 10%. Las pérdidas sucesivas de la cadena de transporte y conversión hacen que sea ineficiente el uso de la energía generada en un lugar y transportada a otro. Lo mejor es generar energía en el lugar en que se consume.

Un automóvil utiliza combustible líquido, del cual solo el 11,5% de la energía llega a las ruedas (el resto se pierde por el caño de escape, en calor, ruido y en tiempo de ralentí). Del 11,5% la mitad se usa para movimiento. Además, como el 95% de la masa transportada es el vehículo, menos del 1% de la energía del combustible se invierte en propulsar al conductor.

Otro ejemplo. En 1970, una turbina para generación eléctrica alimentada con gas natural requería 4.000 kilocalorías (calor) por cada kWh (eléctrico) generado. Hoy requiere 2.500 kcal/kWh y con ciclo combinado (turbina de vapor y gases calientes en serie) requiere solo 1.500 kcal/kWh. La eficiencia es uno de los indicadores de la bondad de una máquina. Incluso el concepto puede ser usado para los alimentos: de cada 10 unidades de energía en combustible fósil usado para producir alimentos solo una unidad en promedio llega como producto comestible a la mesa del consumidor. El resto se pierde durante la producción, transporte y distribución.

La eficiencia en las energías renovables puede tener otro tipo de implicancias. Una celda fotovoltaica tiene una eficiencia entre 10 y 40%, dependiente de su estructura física interna. Esto determina la superficie necesaria que debe ocuparse para producir la misma cantidad de energía (m^2/kWh). En otras palabras, cuánta energía genera el techo de una casa.

La eficiencia está ligada a las leyes de la termodinámica. Considere un reloj de arena. Es un sistema cerrado donde la arena no se crea ni se pierde (primera ley de la termodinámica: conservación de la energía). Mientras la arena cae se genera una energía que se disipa; la arena superior tiene energía potencial y la inferior ya no tiene capacidad energética. No se puede invertir este orden con movimiento hacia arriba (segunda ley de la termodinámica: la entropía siempre aumenta). Para volver a empezar se puede girar el reloj de arena haciendo un aporte de energía externa, que siempre es mayor a la que se puede obtener de la caída de la arena. Resumen: la eficiencia es menor al 100%, y siempre será muy inferior. La lucha es por fracciones de eficiencia, aunque sean valores absolutos importantes.

(4) Huella de carbono (el costo ambiental). La producción de petróleo durante la extracción por bombeo genera 2,7 $\text{kgCO}_2/\text{litró}$ (kg de

CO_2 por cada litro de combustible). En la fase posterior de extracción (inyección de vapor) el valor aumenta un 20%. Para la técnica de fracturación hidráulica el costo ambiental es muy superior. El bioetanol obtenido desde maíz produce también 2,7 $\text{kgCO}_2/\text{litró}$, pero el biodiesel de soja es la mitad. Con los biocombustibles hay una fuerte controversia respecto a estos valores por las emisiones adicionales que se producen en la etapa de agricultura. Para comparar, una hamburguesa (Big Mac) produce de 3 a 6 kgCO_2 , considerando todos los componentes, lo que equivale a 1 a 2 litros de gasolina.

Cuando se fabrica una central de energía solar fotovoltaica se produce una huella de 34,3 kgCO_2 por cada MWh de energía eléctrica generada. En tanto, la construcción de una central térmica de combustible fósil tiene una huella 3 veces menor. Pero, mientras la energía solar entrega electricidad directa y no produce CO_2 adicional, la central térmica emite CO_2 extra al quemar el combustible durante la explotación. Por ejemplo, si se usa gas natural se emiten 436 kgCO_2/MWh adicionales (en la central de ciclo combinado) y con carbón 915 kgCO_2/MWh . Se calculó que un hogar promedio de Estados Unidos consume 11,28 MWh/año y libera 5.400 kgCO_2 alimentándose de energía eléctrica a gas en ciclo combinado.

El costo ambiental de una central térmica a gas o carbón es decenas de veces mayor a la energía solar. La energía solar produce CO_2 cuando se fabrican los equipos pero luego se puede usar sin cargo de conciencia. A esto se llama "energía limpia", es decir, tan limpia como es posible. La energía verdaderamente limpia es aquella que no se consume. El país que más energía renovable tenía instalada en el 2013 fue China con 378 GW (suma de hidroeléctrica, eólica y solar), seguida por Estados Unidos con 172 GW, Alemania con 84 GW, India con 71 GW e Italia y España con 49 GW. La Argentina casi no produjo energía renovable solar y eólica y tenía cerca de 12 GW de hidroeléctrica.

(5) Ocupación laboral (la sustentabilidad social). Un elemento de comparación poco utilizado es la cantidad de empleo por unidad de energía. El empleo se divide en dos etapas: el necesario para la investigación y fabricación y el necesario para la instalación y mantenimiento. Por ejemplo, un parque eólico marino de 228 MW requiere 500 empleos de trabajo por 5 años hasta el fin de la instalación (total 2.500), y 40 empleos durante 20 años de funcionamiento (800). Son 3.300 empleos-año. Con un factor de capacidad de generación eólica del 35%, se generan 14.000 GWh en 20 años. Resultado: se requieren 0,23 empleos-año por cada GWh generado. Siguiendo la misma línea de razonamiento, las centrales eléctricas térmicas (carbón o gas natural) tienen un valor de 0,11 y una central nuclear 0,14 empleo-año/GWh.

Pero lo interesante es que la generación de energía fotovoltaica de autoconsumo (en los techos de las casas) requiere 1,42 unidades de empleo por unidad de energía (según Greenpeace). ¿Por qué esta diferencia? La energía fotovoltaica usada en forma distribuida para autogeneración requiere instalaciones con mucha mano de obra. A cambio, no se utiliza la red eléctrica de distribución como en la energía centralizada. Si este valor se presenta como "eficiencia" parece mostrar un exceso de trabajo requerido para la misma generación eléctrica, por eso es importante correlacionarlo con los ahorros en red de transporte. Según *The Solar Foundation*, en Estados Unidos el crecimiento de empleo en el 2013 llegó al 20%, la mayoría en proyectos (52%). En total eran 143.000 puestos de trabajo con el 50% en instalación. Conclusión: requiere más empleo de calidad en la generación domiciliar y menos en la centralizada.

(6) Tasa de retorno energético TRE. Se define como la relación entre la cantidad de unidades de energía producidas por cada unidad invertida. Es un número sin dimensiones. En el hombre primitivo la TRE era levemente superior a la unidad, porque se invertía toda la energía humana disponible en conseguir comida, la cual recuperaba la energía invertida. Un pequeño excedente permitía el incremento de la población, que luego se perdía por hambrunas y pestes. Lo mismo vale para las especies vegetales donde una TRE superior a 1 es invertida en crecer. Si la TRE es inferior a 1, el sistema se detiene y muere.

Por encima de la relación entre energía obtenida e invertida (TRE), es importante el excedente neto de energía y la disponibilidad geográfica y temporal. Un cazador tribal podría capturar un elefante con lo que obtiene una TRE muy elevada, pero la disponibilidad de hacerlo en forma permanente sería muy baja. De esta forma, la agricultura tiene una TRE menor, pero una disponibilidad constante. La capacidad de carga de la agricultura es mayor y el excedente neto también.

Algunos autores usaron el concepto de TRE para estudiar la caída de los imperios (como el romano) y observaron que el ascenso coincide con el incremento de la productividad (p.e., agrícola) y el descenso con el agotamiento. Al inicio de la Revolución Industrial se cambió el tipo de combustible, pasando de biomasa-turba a carbón-petróleo. En el Imperio Romano también se usaba energía de biomasa y la TRE fue disminuyendo en la medida que la calidad del suelo se agotaba. Pero en la Revolución Industrial se logró hacer una transición, usando los sistemas anteriores con baja TRE para financiar a los nuevos con alta TRE. Este caso se repite ahora con las energías renovables. Lo más lógico es utilizar el petróleo disponible para financiar lo antes posible la conversión a energías renovables y no contaminantes.

El caso: "TRE del petróleo". Se estimó que al inicio de la explotación del petróleo (1860) por cada litro de petróleo invertido se obtenían cerca de 100. Los primeros yacimientos tenían petróleo de alta calidad a escasa profundidad, en lugares accesibles y fáciles de explotar. Pero, durante la Segunda Guerra Mundial fue necesario extraer petróleo a mayor profundidad y en lugares aislados. La TRE en 1970 se redujo a 20-40 y en el 2005 a 10-15. La TRE del petróleo es decreciente (por ser un recurso no renovable) y es aún menor con los yacimientos no convencionales (pizarras bituminosas o alquitranes pesados). Los valores se reducen a 5-10 porque las nuevas reservas requieren mucha energía para su manipulación en las rocas donde están encerradas.

La TRE del petróleo descendió de 100 a 10, pero en realidad nunca ha sido 100. La eficiencia de las máquinas hace un siglo era muy baja y la energía útil era muy inferior al presente. En la actualidad, la TRE del petróleo podría ser 3-4 medido como energía útil de gasolina en el automóvil. Hay autores que evalúan la TRE por debajo de la unidad

para ciertas aplicaciones. En suma, se dan gracias a que el petróleo está allí, sin un costo de fabricación y listo para ser usado, porque de lo contrario la sociedad industrial no existiría.

Una conclusión muy aceptada es que: "el agotamiento del petróleo no se producirá cuando las reservas lleguen a cero, si no cuando el costo energético de la extracción sea igual al contenido energético de dichas reservas". Se puede decir que se extrajo en toda la historia una fracción ínfima de todo el combustible fósil existente, pero la amplísima mayoría está tan disperso e inaccesible que no se puede extraer en forma rentable con las técnicas actuales. Esto impide responder en forma precisa a la pregunta ¿Cuántas reservas de petróleo quedan?, una nueva tecnología podría ampliar las reservas explotables.

La TRE comparada. La TRE de la energía eólica se calcula como la energía eléctrica generada en toda la vida útil de una turbina eólica, dividida por la suma de las energías invertidas. Se considera la infraestructura, el mantenimiento y el desmantelado al final de la vida útil. Así calculada, la TRE de la energía eólica varía de 5 a 80, con una media de 20. El rango de dispersión es natural debido a la dependencia geográfica: mejores vientos implican mayor TRE. Este valor es proporcional al tamaño del generador y los más grandes y eficientes obtienen valores muy altos. En cambio, la generación de energía desde el bioetanol, tiene una TRE cercana a la unidad (algunos indican que podría llegar a 5). Pero, el más serio inconveniente es que la producción de maíz para biocombustibles compite con la alimentación. Siendo la agricultura la principal culpable de la deforestación, seguramente la huella de carbono del bioetanol es muy alta.

Los valores de TRE son ambiguos. No hay un estándar sobre qué actividades deben ser incluidas. ¿Hasta dónde hay que llevar la cadena de procesos necesarios para una fuente de energía? Por ejemplo, ¿es preciso incluir la energía utilizada en la fabricación del acero para los aerogeneradores?, ¿y la fabricación de los altos hornos para fabricar el acero?, ¿la alimentación de los trabajadores metalúrgicos? Debido a esta ambigüedad es necesario usar los valores de TRE calculados con los mismos parámetros (por el mismo autor).

Otro ejemplo. Si se quema carbón se obtiene cierta cantidad de energía calórica. La TRE del carbón es 27 en Estados Unidos. Pero si lo deseado es electricidad, se tiene un 40% en energía eléctrica (es la eficiencia de las centrales a carbón). La TRE de la energía eléctrica a carbón es de 12. Para el petróleo se obtiene algo similar. El petróleo no es una fuente energética útil, lo que se consume son productos refinados (gasolina o diésel). Así que, olvidando la huella de carbono (costo ambiental) y de usar recursos no renovables (costo para las generaciones futuras), es posible mantener el sistema (la sociedad industrial) funcionando con una TRE superior a la unidad. Buenas noticias para las petroleras, pero con una cuenta ambiental difícil de pagar.

Las redes inteligentes de transporte de energía eléctrica

Redes de alta tensión. La red de transporte de alta tensión y distribución de media y baja tensión son la parte visible de la energía eléctrica. Las centrales térmicas pueden instalarse cerca de las ciudades pero las represas están en lugares remotos. La red de alta tensión sirve para conectar las represas hidroeléctricas a los centros de consumo y para interconectar distintas regiones del país o países entre sí. Algunos de los problemas a resolver de las redes son: (1) la inestabilidad entre sectores de la red y la posibilidad que la caída de un sector arrastre al resto de la red; (2) la ineficiencia del transporte y la pérdida de energía en cada paso de la red; (3) las consecuencias ambientales sobre la flora y fauna silvestres; (4) posibles efectos sobre la salud debido a los campos electromagnéticos; (5) la inclusión de sistemas de energía renovables con capacidad de generación aleatoria; (6) la inyección a la red de energía producida por los consumidores.

La red interconectada (Grid) relaciona los medios de producción y los lugares de consumo, de forma que se puede realizar un balance de la carga y suplir a aquellas centrales que salen de servicio. Un problema común es el efecto "dominó", donde la caída de una parte de la red arrastra a toda la red. El transporte de energía eléctrica es ineficiente debido a las pérdidas por resistividad de las líneas. Para mejorar la eficiencia se debe trabajar en alta tensión. Los generadores trabajan a media tensión y para elevarla se usan transformadores. Las pérdidas eléctricas son por calor (efecto Joule), y es proporcional a la corriente y la resistencia eléctrica de los cables. Para reducir la corriente se aumenta la tensión y para reducir la resistencia se aumenta el diámetro. Por ejemplo, el embalse Piedra del Águila en el río Limay tiene una potencia instalada de 1,4 GW (genera 5.000 GWh al año) y las líneas hasta Buenos Aires son de 500 kV (kiloVolt) para recorrer cerca de 1.200 km.

El impacto ambiental. Las redes de transporte recorren miles de kilómetros pasando por áreas urbanas, productivas y naturales, con impacto ambiental y paisajístico. Se construyen caminos de tierra a lo largo de las torres para inspección periódica y se interfieren las actividades agrícolas y la navegación de pequeñas aeronaves. Estas líneas tienen efectos sobre la vida silvestre ya que fragmentan el territorio y la masa vegetal y arbórea. Si bien algunas aves aprovechan las torres para nidos (cotorras y caranchos) y otras los cables para posarse (golondrinas), muchas caen muertas por colisiones durante los vuelos migratorios o el planeo en busca de alimento (rapaces). La trampa más evidente es el alambre de tierra (parte superior de las torres) que tiene menor diámetro y es menos visible que el resto. También se producen muertes por electrocución cuando tocan 2 alambres a la vez o se posan en la estructura metálica y tocan un alambre de transporte de energía. En Europa se calculó que en 16 años el 6% de adultos y 25% de crías de cigüeña blanca (*Ciconia ciconia*) murieron por choque o electrocución. ¿Por qué las aves no ven los cables? Cuando vuelan suelen mirar hacia abajo y no toman en cuenta que hay por delante. La evolución requiere mucho tiempo para seleccionar individuos que se cuiden de implementos que colocan los humanos en lugares que no deberían estar y que tienen menos de 100 años de existencia.

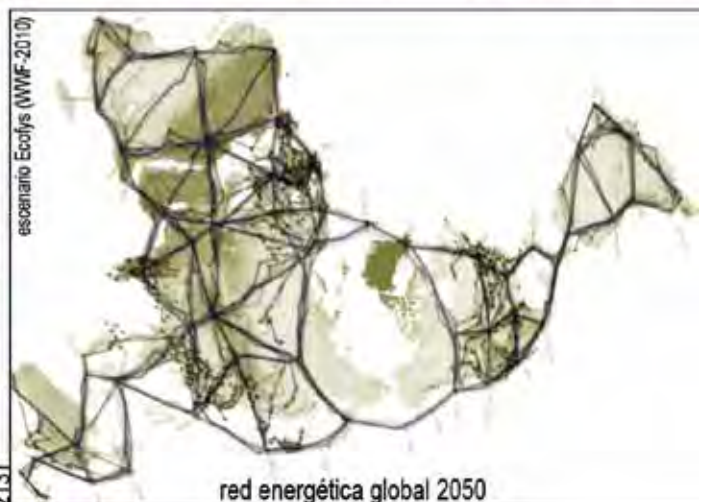
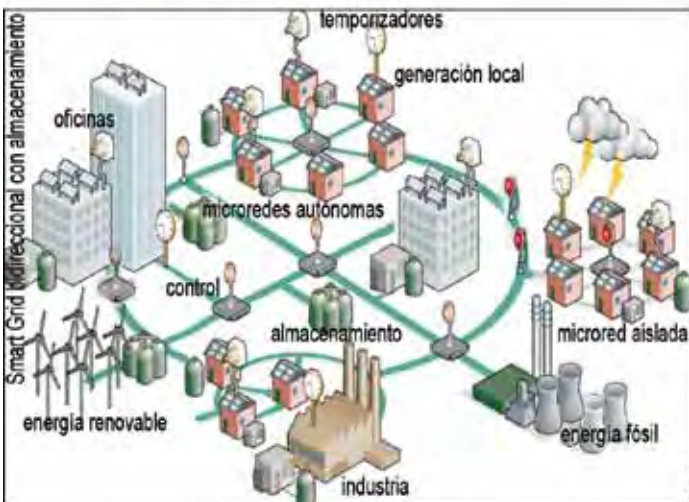
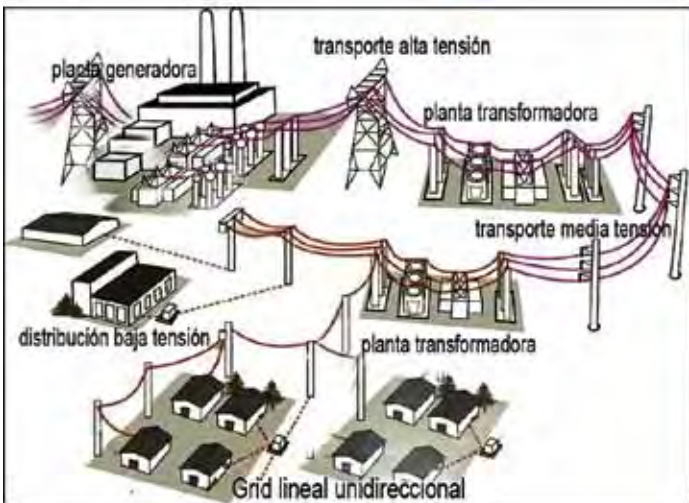
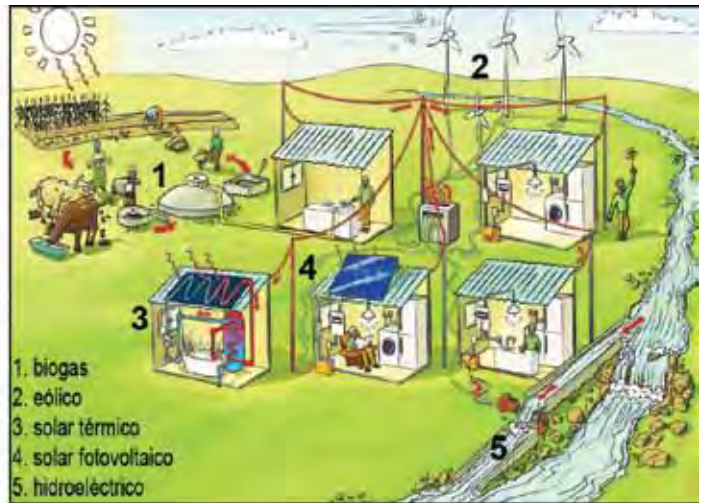
Otro problema es el ruido (zumbido) producido por la ionización

del aire (efecto corona) en el entorno de los conductores. Este efecto aumenta con la humedad y la ionización produce ozono y otros contaminantes en zonas industriales. Además, algunos estudios elevaron el nivel de preocupación por el efecto de los campos electromagnéticos sobre la salud. Las estaciones transformadoras utilizan equipos con materiales contaminantes que pueden liberarse en caso de incendios. Por ejemplo, los PCB (policlorobifenilos) son compuestos organoclorados que se usan de aceite refrigerante para intercambiar calor. Son cancerígenos y uno de los 12 contaminantes más nocivos producidos por el hombre según el UNEP (*United Nations Environment Programme*).

Una red fluctuante. Dinamarca tiene un importante despliegue de granjas eólicas marinas. En el 2013 generaba el 33,2% de la energía que consumía y proyectaba el 50% para el 2020 y 100% en el 2050. En julio del 2015, en un día inusual de viento, se llegó a generar el 130% de la energía eléctrica demandada (3,2 GWh de demanda y 4,2 GWh generados). Cuando la demanda interna es inferior a los picos de generación, se puede vender el excedente a los vecinos, pero a bajo precio. En cambio, cuando tenía un pico de demanda debía comprar energía pagándola mucho más cara. Noruega, en cambio, dispone de una producción abundante de centrales hidroeléctricas lo que facilita la acumulación mediante hidrobombeo. Así que Dinamarca y Holanda extendieron sus redes para acumular el excedente de energía en los embalses hidroeléctricos de Noruega. El problema puesto en evidencia es la falta de coherencia en la red eléctrica (la grilla) debido a las variaciones entre la generación y la demanda.

Un problema casi genérico de las energías renovables es que dependen de una fuente de energía aleatoria (radiación solar, viento, olas). Las fluctuaciones son de corto plazo (paso de una nube sobre la granja fotovoltaica), mediano (días nublados) y largo plazo (estaciones del año). Cada fuente de energía tiene su propia problemática y el resultado son fluctuaciones de tensión (220 V) y frecuencia (50 Hz). Cuando la carga aumenta la tensión y frecuencia tienden a disminuir. Las soluciones son: (1) una red mixta de energía renovable con convencionales (nuclear e hidro) que ayude a compensar los períodos de ausencia de las renovables. (2) entidades de almacenamiento de energía renovable cuando hay exceso de generación. Pueden estar concentradas junto a los generadores o distribuidas en los domicilios de los usuarios. (3) una red eléctrica inteligente (*Smart Grid*) que ayude al manejo de los baches con información de cada punto de la red y la desconexión de los elementos no esenciales.

La Smart Grid. La primera red de corriente alterna es de 1886 y la interconexión entre redes sirvió para compensar los desbalances de consumo entre ellas. La "red inteligente" es la forma de reducir la necesidad de almacenar. En lugar de ajustar el suministro a los caprichos de la demanda, una red inteligente ajustaría constantemente la demanda. Hacia 1980 se introdujeron mediciones remotas de medidores a grandes consumidores y en el siglo XXI las técnicas de informática e Internet abren las puertas a la comunicación con todos los usuarios y equipos conectados a la red. Esto es imperativo en la medida que usuarios se conectan a la red para inyectar energía desde sus paneles



2131. Las fuentes renovables y la red inteligente. Las energías renovables generan electricidad en forma aleatoria (arriba-izquierda). Para que una red sea abastecida debe componer varias fuentes. Por ejemplo, la energía solar tiene un diagrama periódico diario. La energía eólica puede acumularse cuando existen picos de generación. Otras fuentes de energía como la hidroeléctrica, biomasa o nuclear, tienen una generación casi constante. De esta forma, una comunidad puede ser alimentada como una suma de diferentes fuentes de energías (derecha). El uso de energías renovables impacta sobre la red de distribución eléctrica. El primer tipo de red consistía en conectar el punto de generación con la red de consumidores (centro-izquierda). Con el tiempo las redes interconectaron regiones para ofrecer una red nacional que funciona como backup cuando existen problemas aislados. El impacto ambiental de las redes de alta tensión se hace sentir en la fragmentación de ecosistemas (derecha). Hoy día se piensa en una red inteligente (*smart grid*) que incluye las siguientes innovaciones (abajo-izquierda): transmisión bidireccional entre consumidores; generación local de energía (celdas solares, biomasa); pequeñas redes cerradas y autónomas fáciles de aislar; almacenamiento de energía; medidores inteligentes para el balanceo de carga; comunicación de redes para control distribuido y centralizado; previsión de picos de consumo y reparto de carga (equilibrio entre generación y carga). Una red de transmisión global permitiría aprovechar la generación en las zonas más favorables (desiertos) y transportarla a las zonas de consumo (derecha).

solares, lo que introduce el flujo de energía bidireccional, una topología flexible de la red y el almacenamiento distribuido.

Las estrategias de *Smart Grid* son diversas: (1) la segmentación de los consumidores en sectores autónomos; (2) la incorporación de informática descentralizada para administrar la carga de cada sector; (3) la comunicación de cada consumidor con la red para ajustes anticipados; (4) la incorporación de unidades de almacenamiento de energía para estabilizar la generación y demanda; (5) el cambio de configuración de la red en forma autónoma; (6) el uso de políticas tarifarias que nivele el consumo de energía eléctrica. Estas acciones generan preocupaciones: sobre la privacidad y el uso de la información de consumo; la disponibilidad equitativa de la electricidad; el uso de tasas variables complejas para el usuario; el control a distancia de los medidores inteligentes; la seguridad contra ataques cibernéticos.

Una estrategia consiste en interrumpir la energía de los elementos menos esenciales (frigoríficos en los hogares, aire acondicionado en oficinas) por un momento en cada caso, sin afectarlos, pero en forma suficiente como para nivelar la carga de la red. Entonces, los requerimientos de almacenamiento serían menores. En un futuro los pequeños conglomerados pueden llegar a un "cero neto" intercambiando energía con poblaciones vecinas, donde las interconexiones locales serían líneas de baja tensión. Otra estrategia es el uso de medidores inteligentes que reaccionarían a la frecuencia de la red. La idea sería: si consume electricidad a una determinada frecuencia, tendrá que pagar una tarifa diferencial. Hay cuestiones técnicas y políticas que resolver. En Alemania la implementación se retrasa por problemas con la privacidad y los costos. Los ensayos son en redes pequeñas que a menudo requieren más equilibrio que las grandes redes nacionales.

Los clientes con paneles solares en los techos compran menos energía, pero quieren mantener la seguridad de disponer de ella. Esto obliga a una adecuación de la ecuación energética. En Arizona se propuso una tarifa fija por una conexión a la red para quienes generan energía fotovoltaica. También se buscan restricciones a la venta del excedente de electricidad o a los precios que se pagan por ella. Con menos kWh vendidos, las empresas eléctricas tienen dificultades para invertir en centrales y redes inteligentes. A cambio de una concesión monopólica geográfica, la empresa de distribución eléctrica es responsable de garantizar la fiabilidad de la transmisión y distribución. Con la energía solar en la azotea, los patrones diarios de suministro y demanda cambian. La reducción de la demanda de electricidad sería buena porque los costos se reducirían y el estrés en la red disminuiría. Pero una profunda caída de la demanda en los momentos de mayor sol obliga a tener plantas de energía que se ajusten por horario o al almacenamiento de energía. Un problema similar ocurre en la telefonía con el abandono de la línea fija (cable) por la celular (inalámbrica). En este caso la empresa telefónica debe mantener la red de cables con una reducción significativa de usuarios y de tráfico. Mientras en telefonía las redes podrían ser retiradas, en el caso de la electricidad es imposible por la confiabilidad. Se convierte en una "círculo vicioso", donde el usuario que genera su propia electricidad carga los costos sobre los usuarios conectados a la red, quienes se ven incentivados a desconectarse.

Una red inteligente debe ser capaz de comunicarse entre todos los puntos, como en Internet. Podría usarse la predicción del tiempo (nublado, vientos) para anticipar quien requerirá energía y quien podrá

entregarla. Se podría almacenar energía hidroeléctrica y usar centrales de biogás distribuidas en las regiones rurales. Una transición del estilo requiere cambiar los medidores eléctricos de los domicilios por otros inteligentes que ofrecen y transmiten información para la evaluación. Para el uso privado, existen monitores individuales que se colocan en forma paralela a la instalación eléctrica (acoplamiento magnético) y que entregan información variada online mediante una conexión wifi en Internet. Las redes inteligentes serán obligatorias y caras. Por ejemplo, Alemania genera en forma distribuida energía renovable solar y eólica. Pero una perturbación local puede sacar de servicio a todos los inversores a la vez en una fracción de segundo. Entonces, las compañías eléctricas no podrán sustituir con esta velocidad la inestabilidad del sistema. Para solucionarlo las compañías alemanas invierten en sistemas inteligentes y elevan el costo de la energía al usuario final: el doble entre 2002-2014 y llegando a 0,40 us\$/kWh. Los sobrecostos de la implementación llegan a los usuarios quienes culpan a las empresas de distribución. Además, las redes son muy inerciales, las innovaciones aparecerán solo en las nuevas inversiones. Esta es una amenaza muy fuerte para las empresas actuales generadoras de energía que deben a la vez aceptar la generación desde usuarios y hacer un upgrade muy caro de la red.

Un problema de diferente origen pero que pone también en alerta a las redes es la difusión de Internet y el almacenaje de datos que hacen peligrar la provisión eléctrica a mediano plazo. En la última década la demanda de Internet aumentó 50 veces, las redes se ampliaron y el consumo de energía aumentó. En el 2010 se estimó que Google consumió el 1% de la energía eléctrica mundial. En el 2011 se informó que la suma de servidores, routers y equipos de redes consumieron el 2%. En el 2013 se afirmó que todo el mundo de Internet suponía el 10% de la demanda global. En Gran Bretaña, la Royal Society, alertó sobre la necesidad a futuro de racionar el uso de Internet y el almacenaje de datos. Una solución podría ser la inteligencia distribuida y la provisión eléctrica desde celdas solares propias.

¿Almacenar o reducir? En otras palabras ¿es conveniente invertir en almacenamiento? El costo energético para producir, mantener y reciclar baterías es conocido. La batería de plomo tiene el mayor costo energético (como emisión de CO₂), mientras que la ion-Litio la de menor costo. Pero, cuando se compara con los generadores fotovoltaicos y eólicos el costo energético de las baterías puede poner en duda el beneficio ambiental de colocar acumuladores junto con los generadores.

Cuando la capacidad de generación supera a la demanda se puede acumular el excedente o detener los generadores. Parece un despropósito detener los generadores de "energía limpia", pero si el costo energético del acumulador es elevado, la acumulación puede ser un mal negocio ambiental. La energía eólica tiene menor costo energético que la fotovoltaica. En la energía fotovoltaica el costo energético de construir paneles o baterías es equivalente y por lo tanto sería favorable la implementación combinada. Para la energía eólica se calculó que interrumpir la generación de energía, reduce el retorno de la inversión en el 10%. Mientras que colocar baterías como acumuladores produce una reducción entre 20% (baterías ion-litio) y 50% (plomo-ácido). En otras palabras, la energía eólica, de bajo costo de producción, no compagina con un método de almacenamiento de alto costo. En cambio, el almacenamiento por hidrobombeo en represas tiene un costo 10 veces menor a las baterías y resulta en una buena alternativa.

Con el incremento de la proporción de energía renovable la red se verá afectada con las fluctuaciones de forma que pueden existir variaciones de tensión rápidas. Un pequeño banco de baterías puede ser conveniente para "amortiguar" los picos y valles rápidos de la generación eólica y fotovoltaica (paso de una nube o una ráfaga de viento). Según General Electric, un banco de baterías de menos de 15 minutos podría ser suficiente para cubrir esas variaciones y se

integra a cada generador eólico. Así, a un generador de 2,5 MW le bastaría con 25 kW, equivalente a un banco de un automóvil eléctrico. El cálculo económico de las energías renovables debería incluir el costo de la energía convencional que sirva para amortiguar las variaciones. Pero, si en lugar de las variaciones a corto plazo, se consideran las variaciones de largo plazo los considerandos serían diferentes.

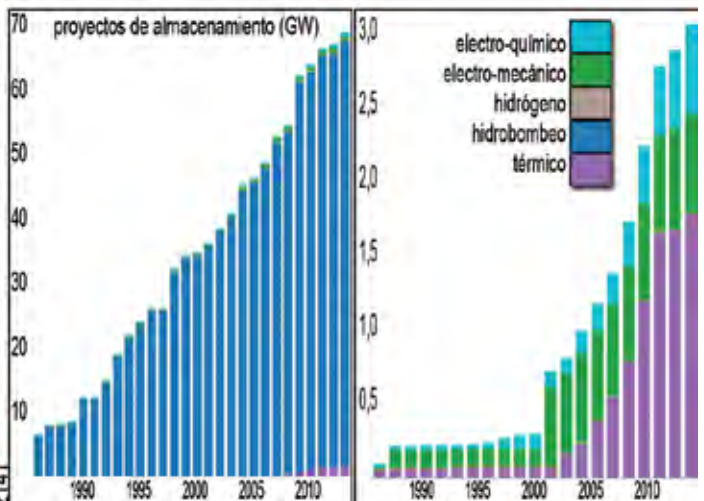
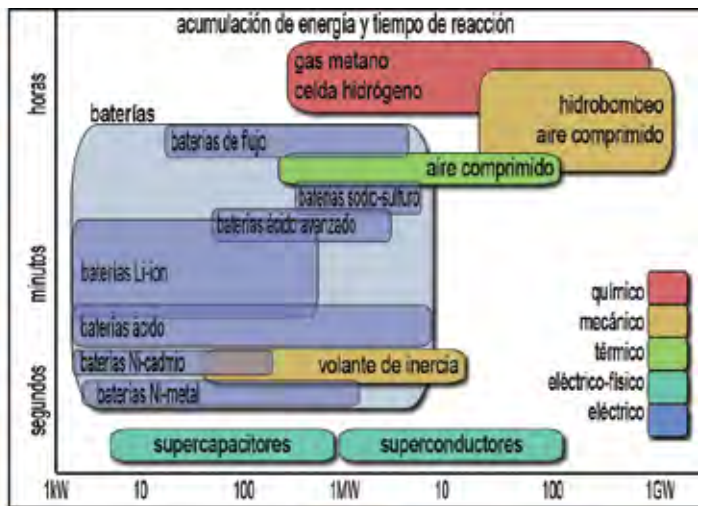
El almacenamiento de la energía eléctrica

Tipos de almacenamiento. Un almacenamiento de energía omnipresente es el biológico. Por ejemplo, los organismos vivos ahorran energía en la madera y azúcares (vegetales), en la grasa (animales) y en moléculas químicas (las células). La biomasa es la fuente primera de energía que usó el hombre. Los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) son el resultado de la transformación de biomasa en

elementos químicos más simples y tienen ventajas inigualables, como ser fáciles de transportar y de acumular por mucho tiempo. Para que las fuentes renovables suplanten a las fósiles se requiere encontrar formas de acumular energía por largos períodos de tiempo.

Las formas de acumulación son: química (producir biocombusti-

biológicos	biomasa (incluye alimentos, madera, etc.)
químicos	petroquímicos (biocombustibles) Hidrógeno (celdas de H o gas natural)
electro-químico	pilas y baterías (gran variedad)
electro-físico	supercapacitores superconductores (almacenamiento magnético)
mecánico	muelle elástico o resorte volante de inercia (energía cinética) aire comprimido (tanques o cavernas) acumulador hidráulico (fluido bajo presión)
energía potencial	represas hidroeléctricas y mareomotriz (costa de mar) hidrobombeo y pendientes (acumulación gravitatoria)
energía térmica	acumulador de hielo; sales fundidas en tanques acumuladores de vapor (agua caliente, cerámicas) aire o nitrógeno líquido en tanques



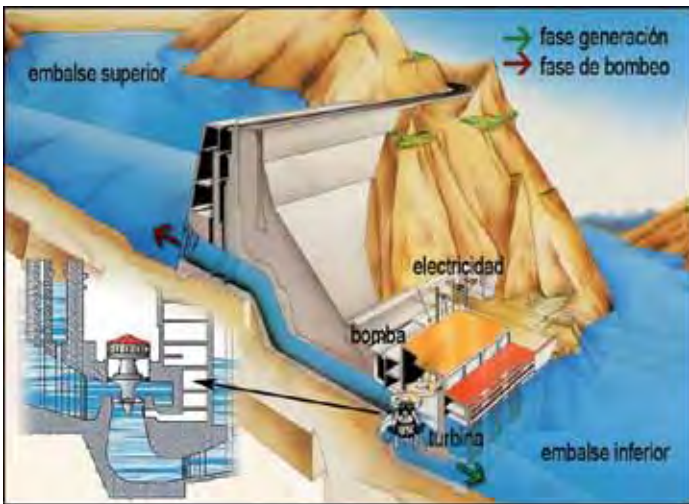
2141. Formas de almacenamiento de energía. Las tecnologías de acumulación son muy variadas (arriba-derecha), pero la amplia mayoría están en fase experimental o prueba. Las características que permiten identificar el interés de cada tipo son: capacidad de almacenamiento (escala en MWh); densidad energética (kWh/m³ o Kwh/kg); eficiencia (%); tiempo de acceso y reposición a la red; transportabilidad; costo (us\$/kW); seguridad y madurez técnica; tiempo de vida (años) y ciclos de vida (miles); impacto ambiental. Considerando el tiempo de acceso y recuperación de la energía almacenada (derecha) se distinguen formas de gran capacidad y tiempo de trabajo, como el hidrobombeo. Las baterías forman un conjunto muy variado de alternativas. El hidrobombeo es la forma de almacenamiento más experimentada y de bajo riesgo (abajo-izquierda). Muchas otras alternativas se encuentran en fase experimental o de prueba y con riesgos mayores en la curva de introducción comercial. El crecimiento del almacenamiento de energía se realiza mayormente sobre hidrobombeo en un 95% (derecha), pero a futuro se hará popular el almacenamiento distribuido en el interior de la grilla (red de distribución) y los hogares.

bles, hidrógeno o gas con el excedente); electroquímicas (pilas y baterías); eléctricas (supercapacitores o superconductores); mecánicas (muelle elástico, volante de inercia, aire comprimido en tanques o cavernas); potenciales (hidrobombeo o mareomotriz) y térmico (sales fundidas, aire o nitrógeno líquido). Cada una tendrá ventajas y desventajas en base a un listado de características: capacidad de energía mínima y máxima (kWh), energía específica (kW/kg o kW/m³); tiempo de almacenamiento (horas, días, años); tiempo de recarga y descarga (segundos, minutos, horas); costo por unidad de energía (us\$/kWh); rendimiento o eficiencia (porcentaje de energía recuperada referida a la almacenada); tiempo de vida (años) o ciclos de actividad (centenares o miles); transportabilidad; seguridad (posibilidad de contaminación); impacto ambiental (reciclado); uso de materiales estratégicos y escasos; estado de desarrollo; etc.

Según el *Global Energy Storage Database*, hasta el 2015 se podían contabilizar más de 140 GW de almacenamiento, donde solo 3,6 GW no eran del tipo hidrobombeo. Los 3,6 GW se distribuían en 582 proyectos en todo el mundo, siendo Estados Unidos el más importante con 1 GW. En suma, mucha variedad y pequeña escala.

(1) Almacenamiento hidroeléctrico. Son centrales hidroeléctricas reversibles que pueden asociarse con parques eólicos, nucleares o redes en general. La energía eléctrica sobrante se usa para bombear agua hacia un embalse, la que luego se utiliza para generar electricidad. El sistema acumula energía potencial con una eficiencia del 80%. En Japón tienen una capacidad de almacenaje del 10% de la capacidad de generación instalada y Estados Unidos posee 42 implementaciones con 21,6 GW de capacidad sobre un total de 79,6 GW de potencia hidroeléctrica. Es el 97% de la capacidad total de almacenamiento de Estados Unidos. Las ventajas son la estabilización de la red cuando las energías renovables son inestables. En tanto que las críticas coinciden con las formuladas a las represas hidroeléctricas en general.

En la Argentina se encuentra el Complejo Hidroeléctrico Río Grande (Córdoba-1986). Consta de los embalses Cerro Pelado (750 msnm) y Arroyo Corto (560 msnm), separados por 12 km y un desnivel de 190 m. Tiene una potencia de 750 MW y capacidad de generación de 970 GWh anual. El 85% de la energía se logra mediante hidrobombeo (almacenamiento) y 15% por aporte de agua del Río Grande sobre el embalse superior. Tiene una reserva de 100 GWh y un tiempo de res-



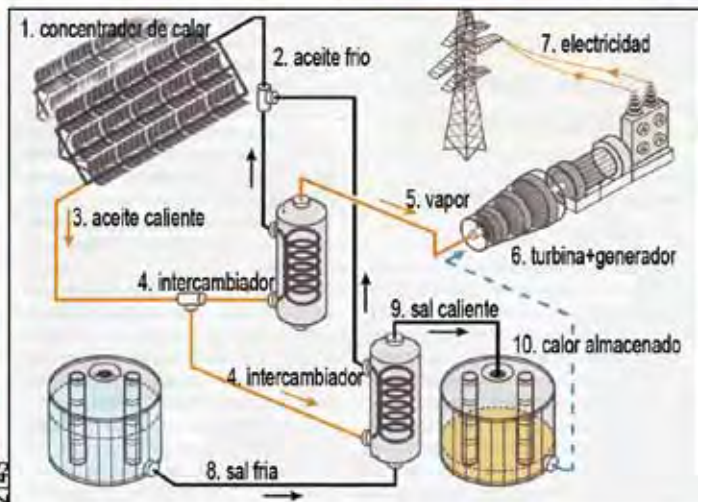
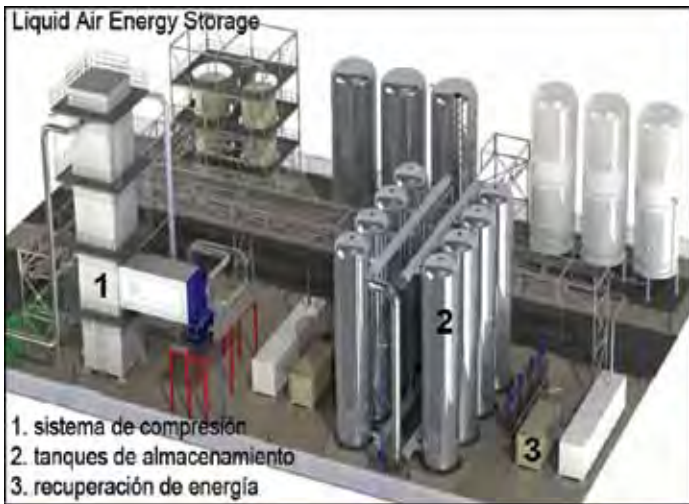
2142. Almacenamiento potencial y cinético El almacenamiento más usado es el hidrobombeo de agua en represas hidroeléctricas que acumula mucha potencia pero tiene un tiempo de reacción largo. El exceso de energía eléctrica se utiliza para bombear agua hasta una represa desde la cual se obtendrá energía cuando se la necesita (arriba-izquierda). El complejo Río Grande se encuentra cerca de Río Tercero (Córdoba) y trabaja con la central de energía nuclear. El excedente se usa para bombear agua desde el embalse inferior Arroyo Corto al superior Cerro Pelado (derecha). El almacenamiento por gravedad puede recurrir a locomotoras eléctricas pesadas (abajo-izquierda) que trabajan todas sobre un mismo riel con pendiente constante. Cuando hay exceso de energía se utiliza para subir los módulos a la parte superior y se recupera cuando es necesario. Otra alternativa es el almacenamiento cinético (derecha). Consiste en una cámara cerrada al vacío que incluye un volante de gran masa que almacena energía por rotación.

puesta de 3 minutos, lo que permite funcionar para entregar o absorber energía desde la red eléctrica del SAI (Sistema Argentino Interconectado). La sala de máquinas está a 226 m debajo del embalse superior. En el mismo complejo se encuentra la Central Nuclear Embalse Río Tercero (un embalse a 530 msnm) que está por debajo de los embalses de almacenamiento.

(2) Almacenamiento cinético. Esta forma consiste en un volante giratorio que convierte energía eléctrica en movimiento mecánico. Cuando se necesita, se acopla al volante un generador que lo frena y produce electricidad. Una gran ventaja es que pueden absorber la energía en segundos o minutos y devolverla con la misma rapidez. Eso se necesita para regular la frecuencia de una red eléctrica (50 Hz) que tiende a bajar cuando la subida instantánea del consumo (la carga) produce una desaceleración de las turbinas. En la implementación de Beacon Power, se tiene una cámara al vacío de 2 m de altura y 1 m de diámetro. El volante está formado por un núcleo cilíndrico de aluminio que alberga el motor (para la carga) y el generador (para la descarga) y una llanta de compuesto de fibra de carbono. Está suspendido en cojinetes magnéticos dentro de una cámara hermética donde puede girar

hasta a 16.000 rpm. El fabricante indica que cada unidad almacena 160 kW con 75.000 ciclos de carga y descarga. Una planta en Hazle (Pennsylvania) inaugurada en 2014, tuvo un costo de 74 Mus\$ para 200 volantes con una potencia de 20 MW.

(3) Almacenamiento de aire. Existen varias alternativas de almacenamiento de aire y otros gases. En Huntorf (Alemania) se utiliza el exceso de energía para comprimir aire hasta casi 100 atmósferas y bombearlo a 2 cuevas de sal ubicadas entre 800-650 m de profundidad. Cuando es necesario se recupera el aire comprimido y se aprovecha para mover generadores en la superficie. Este sistema, que funciona desde 1978, suministra 300 MW durante 3 horas. El reservorio acumula 300.000 m³ de aire y se pone en funcionamiento unas 100 veces al año. En 1991 se inauguró una segunda central en McIntosh (Alabama). Este sistema, denominado CAES (*Compressed Air Energy Storage*), tiene varios problemas. Uno de ellos es la seguridad y hermeticidad de la caverna. Otro es la relación entre la presión del aire y la temperatura: por la ley de Boyle cuando el volumen es constante a mayor presión, mayor temperatura. Hay un límite a la presión del aire enterrado sin que se caliente demasiado. Además, cuando más tiempo permanece



2143. Almacenamiento térmico. El almacenamiento de aire líquido en tanque (arriba-izquierda) permite obtener en forma modular una energía de 50-100 MWh. A gran escala se recurre al almacenamiento de aire comprimido en cavernas profundas. La planta de Huntorf-Alemania (derecha) de 290 MW usa el excedente de una planta nuclear para comprimir aire. El almacenamiento mediante sales fundidas tiene una autonomía de seis horas (abajo). En el caso del Proyecto Solana (Arizona) se usan tanques de 24 m de diámetro y 9 m de altura que permite mover un generador de 100 MW por 4 horas. El proceso es el siguiente: los colectores solares (1) calientan aceite (2-3) que se llevan hasta intercambiadores de calor (4). El calor pasa del aceite al agua (5) y ésta se lleva hasta una conjunto turbina-generador (6) que produce electricidad (7). En tanto, otro intercambiador (4) calienta sales (8-9) que funcionan como almacenaje de calor en los tanques (10). Cuando es necesario, las sales calientes generan vapor para mover la turbina.

en la caverna más calor se dispersa por las paredes. Cuando se extrae el aire comprimido se expande y se enfría, con lo que puede dañar a la turbina. Por eso se necesita quemar gas para calentarlas. El efecto es una combinación de central térmica a gas que aumenta la eficiencia mediante el aire comprimido.

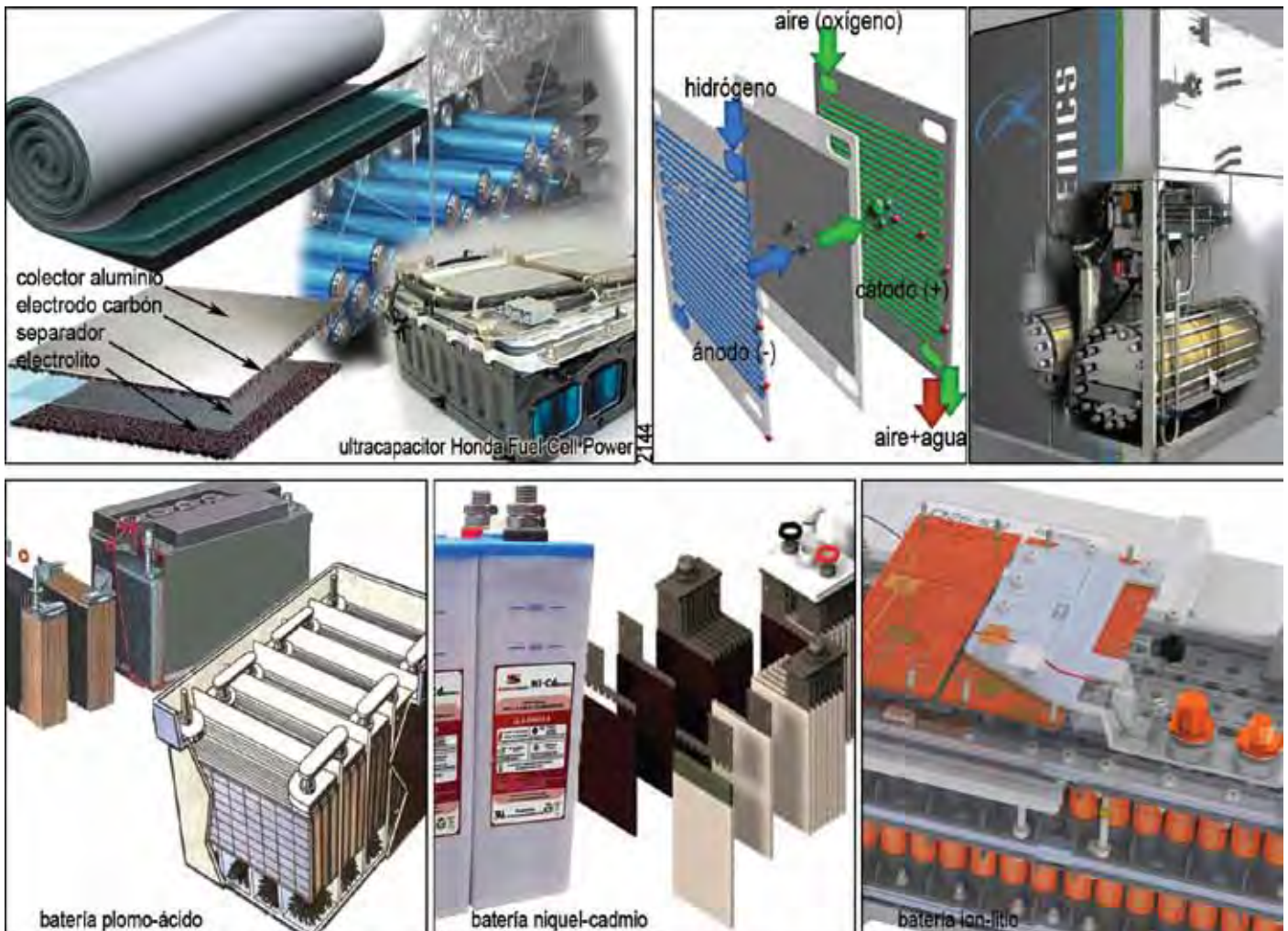
Otra posibilidad es almacenar aire líquido en tanques. El proceso consiste en usar la energía eléctrica excedente para absorber aire, filtrar el CO_2 y el vapor de agua, de forma que el aire restante (en su mayoría hidrógeno) se enfría a -190°C (estado líquido). Cuando se libera, se vaporiza y se expande moviendo a una turbina que produce electricidad. Se calcula que la eficiencia de este proceso es del 50-60% (se recupera la mitad de la energía eléctrica invertida). El aire líquido almacena energía con una densidad similar a una batería de litio, pero con un proceso de recarga mucho más rápido.

(4) Almacenamiento térmico. Un ejemplo tradicional ocurre en las fundiciones de metal y los altos hornos que captan el calor residual en pilas de ladrillos refractarios. Otra alternativa es almacenar calor como vapor presurizado a 50 atmósferas y 285°C . El vapor se condensa a alta presión al estado líquido. Más tarde puede revertirse el

proceso al estado de vapor reduciendo la presión. El almacenamiento se puede hacer por cortos períodos de tiempo (horas). Otra alternativa corresponde a la empresa Ice Energy. Fabrica máquinas que producen hielo durante la noche en un tanque y en el día se utilizan para refrigerar agua y reducir el consumo del aire acondicionado.

En forma industrial se recurre a sales o materiales con cambio de fase para acumular calor. Los materiales con cambio de fase PCM (*phase change material*) tienen la particularidad que absorben calor a una temperatura constante, mientras que el material cambia de fase sólido a líquido. Un material que cumple esta condición a temperatura ambiente puede ser usado como climatizador: absorbe calor cuando se supera el umbral (refrigera el ambiente) y lo entrega cuando el ambiente se enfría. Estos materiales se podrían colocar en las paredes a condición que sean no inflamables y económicos.

Las sales que acumulan calor no son inflamables ni tóxicas; son líquidas a presión atmosférica y la temperatura de operación es compatible con las turbinas de vapor. El almacenamiento mediante sales fundidas tiene una eficiencia del 70%, pero las baterías llegan al 90%. La diferencia se compensa con menores costos. La primera mezcla co-



2144. Capacitores, celdas y baterías. Los ultracapacitores, que llegan a miles de Faraday, permiten acumular energía eléctrica en muy pequeño espacio. Si bien la cantidad de energía no es mucha, la velocidad de carga y descarga es muy rápida (arriba-izquierda). Una alternativa importante son las celdas de hidrógeno (derecha) que consiste en usar la energía para separar el H del agua (hidrólisis) y luego usarlo en la celda donde se produce electricidad al unirse con el oxígeno del aire. Las baterías (abajo) son la forma tradicional de acumular energía a largo plazo. La variedad de materiales y electrolitos usados es muy grande, tanto como las aplicaciones. La última generación de baterías para automóviles eléctricos es de litio (derecha).

mercial de sales fue 60% de nitrato de sodio y 40% de nitrato de potasio; absorbía calor de día y lo entregaba de noche. Una mezcla de este tipo se funde a 220 °C y se mantiene líquido a 290 °C en un tanque de almacenamiento aislado (puede llegar a 390 °C). Por ejemplo, la empresa Halotechnics investigó hasta el 2012 un total de 18.000 compuestos para encontrar diferentes variantes. El uso de nitrato de calcio reduce el punto de fusión a 131 °C, permitiendo que se pueda extraer más energía antes que la sal se congele nuevamente. Para el caso del Proyecto Solanas de energía solar térmica se colocaron tanques de almacenamiento mediante sales de 6 horas de duración. Un tanque de 24 m de diámetro y 9 m de altura permite mover un generador de 100 MW por 4 horas.

(5) Celdas de hidrógeno. El exceso de energía eléctrica se puede usar para separar el hidrógeno del oxígeno en el agua (hidrólisis). Entonces el H se puede usar en forma diversa. Una alternativa es mezclar en una proporción de 5% de H en gas natural (metano) para uso comercial. También es posible mezclar el H con CO₂ y fabricar metano, lo cual ocuparía el total de la red de gas natural. La eficiencia desde la electricidad al metano sería del 60%. Otra alternativa es alimentar a las celdas de combustibles.

La celda o pila de combustible no es un acumulador propiamente dicho ya que convierte energía química en energía eléctrica. Funciona por la recarga de los reactivos consumidos. En una batería los reactivos químicos no se reponen como en las celdas de combustible. Los reactivos pueden ser gas natural (metano) o hidrógeno H y requiere oxígeno, liberando agua (H₂O) en el proceso. El hidrógeno se aporta desde el ánodo y el oxígeno desde el cátodo. Los iones H⁺ cruzan el electrolito que separa al ánodo y cátodo y genera la corriente eléctrica. Estos H⁺ se combinan con el oxígeno produciendo agua como residuo. Existen celdas que utilizan la energía solar para separar hidrógeno desde el agua (hidrólisis), acumularlo y usarlo en la generación de electricidad. El hidrógeno puede separarse desde el metano (gas natural o biogás). Como no se usa un proceso intermedio (térmico o mecánico) la eficiencia es muy alta.

Si bien las emisiones que producen las celdas son el vapor de agua, los problemas que enfrentan son varios. Las membranas (electrodos) son difíciles y caras de fabricar y los catalizadores (donde se aceleran las reacciones químicas) son de platino o paladio y funcionan a altas temperaturas. Existe una limitación en las reservas de estos elementos químicos que obliga a encontrar sustitutos. El H se encuentra líquido a -253 °C y en comparación con los combustibles fósiles tiene poca densidad energética por unidad de volumen (se requieren tanques grandes).

(6) En super-condensadores. Los capacitores de alta capacidad (miles de Faraday por kg de peso) se construyen usando un aislante. En lugar de una placa es un elemento poroso (carbono en dilución electrolítica de metal alcalino). Esto aumenta el área de la superficie e incrementa la capacidad de carga eléctrica. Puede usarse en estabilizadores de tensión cuando las potencias a suministrar son pequeñas. Los ultra-capacitores alcanzan densidades de hasta 30 Wh/kg y con rendimientos del 98%. Son muy útiles para almacenar energía de rápida variación en automóviles eléctricos.

(7) Pilas y baterías. De todos los medios de acumulación, las baterías, junto con los combustibles fósiles, son los más populares.

Ambos son fáciles de transportar, pero a un costo muy diferente. A igualdad de peso, un automóvil a combustible tiene una autonomía 4 veces mayor a uno eléctrico. Esto da origen al síndrome de "ansiedad de autonomía", por el cual parece que nunca la autonomía es suficiente. Otros puntos a tener en cuenta son el costo, la contaminación del automóvil a combustible y el reciclado de las baterías. Una batería tiene características donde la mejora de una de ellas puede ser a costa de otra: densidad de energía; peso total; materiales estratégicos; eficiencia; estabilidad a alta temperatura; número de veces que se puede recargar (longevidad y vida útil); efecto de memoria; etc. Todas las baterías están compuestas de 2 electrodos de diferentes materiales bañados en el interior de un electrolito. Las variantes son las siguientes:

(7.1) Batería plomo-ácido. Posee dos electrodos de plomo dentro de una matriz de plomo metálico. El electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. Durante la carga de la batería el sulfato de plomo se reduce a metal plomo en el polo negativo (cátodo), mientras que en el polo positivo (ánodo) se forma óxido de plomo (PbO₂). En la descarga se invierten los procesos. Los electrones intercambiados se aprovechan como corriente continua. No se trata de un proceso indefinido porque el sulfato de plomo forma cristales y pierde la característica de reversibilidad. Se dice entonces que la batería se "sulfató" y debe cambiarse. Actualmente se utiliza un electrolito en pasta, que no se evapora y las vuelve más seguras y cómodas. Estas baterías son de bajo costo y fácil fabricación. Pero, no admiten sobrecargas ni descargas profundas ya que se reduce la vida útil. Son altamente contaminantes, generan poca densidad de energía (30 Wh/kg) y el peso es excesivo.

(7.2) Baterías de níquel-hierro (Ni-Fe). La batería de ferróníquel es un diseño original de Edison. El cátodo es de acero niquelado perforado y relleno de hidróxido de níquel. El ánodo es de acero niquelado perforado con polvo de óxido ferroso. El electrolito es alcalino, una disolución de un 20% de potasa cáustica (KOH) en agua destilada. Tiene la ventaja de bajo costo y fácil fabricación. Admite sobrecargas, repetidas descargas totales e incluso cortocircuitos. No es contaminante, no contiene metales pesados. Tiene muy larga vida útil (1.000 ciclos de descarga). Los elementos que la componen son abundantes (hierro, níquel, potasio) y funciona en un amplio rango de temperaturas (-40 a +46 °C). Pero, tienen una baja eficiencia (65%).

(7.3) Baterías de níquel. Una alternativa es níquel-cadmio (Ni-Cd) que usan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Trabaja en un gran rango de temperaturas y admiten sobrecargas. Pero, tienen un efecto de memoria muy alto y la densidad de energía es baja. En las pilas AA entregan de 0,5 a 1,0 Ampere. La otra alternativa es níquel-hidruro metálico (Ni-MH). Usa un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico. Tiene un menor efecto de memoria. No trabajan bien en el frío, reduciendo la potencia que puede entregar. En las pilas AA genera 1,2 V con una capacidad de 0,5 a 2,8 A.

(7.4) Baterías de iones de litio (ion-Li). Utiliza un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto o de manganeso. Su desarrollo es reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas completas, por lo que suelen llevar circuitos adicionales para conocer el estado de la batería. No sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas. Tienen altas densidades de capacidad. No toleran los cambios de temperatura. En-

tregan entre 2,7 V (baja carga) y 4,2 V (plena carga) con 1,5 a 2,8 A, en pilas tipo AA. Las baterías de polímero de litio (LiPo) son una variación de ion-Li con características similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros componentes.

El litio. Es el metal más liviano y el más importante para la generación actual de automóviles eléctricos con baterías. Los salares andinos de Bolivia, Chile y la Argentina son las reservas más importantes de litio del mundo (60-85% del total). La Argentina tiene reservas por 11 Mt (cerca del 15%) en la Puna (desde Catamarca a Jujuy). El litio se encuentra disuelto en cloruro de sodio y en Atacama está la máxima concentración con 0,15%. Se exporta el carbonato de litio (cerca de 6.000 us\$ la tonelada) y en el exterior se procesa para producir óxidos y el electrolito. En 2012 se comenzaron programas para fabricar baterías de litio en Córdoba y Jujuy, mediante 3 etapas: purificar el litio, producir pastas y polímeros y fabricar las baterías. Una de las innovaciones propuestas es la forma de separación del litio de la sal. La forma tradicional es mediante evaporación, lo cual consume mucha agua. El proceso propuesto es químico, no consume agua y utiliza energía solar.

Los problemas de las baterías. No hay formas 100% seguras de acumular energía, sea en combustible o baterías. Una batería a medio consumir puede producir un incendio o explotar. La mayoría de baterías contienen metales pesados y compuestos químicos, muchos perjudiciales para el ambiente. Por eso es necesario reciclarlas. La principal causa de contaminación es el mercurio. Las baterías que contienen óxido de mercurio (al 33%) eran muy contaminantes y se usaban en el modelo de botón (se sustituyeron en 1995). En las alcalinas también se les agregaba mercurio (0,5 a 1,2%) para optimizar su funcionamiento. Los límites fueron establecidos en el Protocolo sobre metales pesados de 1998 en Aarhus (Dinamarca) por la UNECE (*UN Economic Commission Europe*).

El mercurio es un contaminante local y global. Tiene una química ambiental muy compleja. Se evapora a temperatura ambiente y sus átomos viajan lejos. Al ser depositado en los cuerpos de agua se trans-

forma en mercurio orgánico (metil-mercurio) por mecanismos aeróbicos o anaeróbicos (así ingresan en el ciclo de pescados y mariscos). Otra forma de intoxicación por mercurio es la inhalación de los vapores emitidos por el mercurio en su forma metálica en ambientes cerrados. El metil-mercurio puede atravesar la placenta y acumularse en los neonatos (sensibles a esta sustancia). También puede existir exposición al mercurio a través de la leche materna. En adultos, la exposición constante por ingesta de alimentos contaminados (pescados), puede producir cáncer. Se acumula en los tejidos de los peces y los especímenes de mayor tamaño y de mayor edad tienden a concentrar niveles de mercurio más altos.

Dado que los tipos de pila más consumidos son alcalinas, el óxido de manganeso es el contaminante que en mayor volumen se liberó al ambiente en las últimas cuatro décadas. Diversos estudios sugieren efectos neurológicos serios por exposición oral al manganeso. En 1981 en Japón, se produjo una intoxicación (16 casos de envenenamiento) debida a que a 2 metros de un pozo de agua se enterraron 400 pilas. Los niveles de manganeso detectados en el agua de ese pozo fueron de 14 miligramos por litro. En resumen, las baterías deben ser recicladas al final de la vida útil y para ello se requiere una legislación apropiada. En esta línea, en la Argentina se investigó el uso de bacterias mineras (*Acidithiobacillus*, *Thiooxidans*) para el reciclado de las pilas. Las bacterias toman la energía del azufre y producen un medio ácido donde se extraer los metales de las pilas.

En Europa las baterías de ion-litio se reciclan a 1.000 °C para separar los materiales en forma aislada. Como muchas baterías de éstas contienen fluor pueden formar ácido fluorhídrico HF si se mezclan con hidrógeno. El peligro llevó a las Naciones Unidas a incluir estas baterías como mercancías peligrosas durante el transporte. Pero, en el 2013 se produjeron 2 incendios en baterías de litio en aviones Boeing-787. El problema se atribuye a la "fuga térmica", que consiste en el aumento de temperatura por incremento de tensión o carga. Entonces, se perfora el ánodo, el electrolito se descompone y libera gases inflamables (etileno y metano). Ante este problema Airbus informó que utilizaría baterías de níquel-cadmio en lugar de ion-litio.

El petróleo y la industria asociada

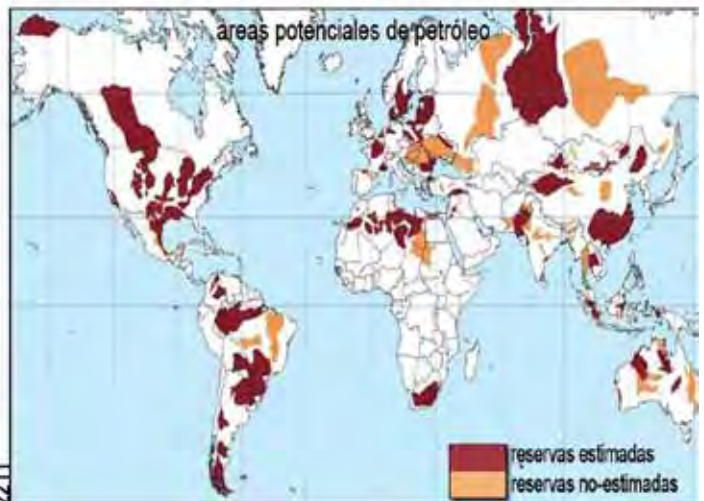
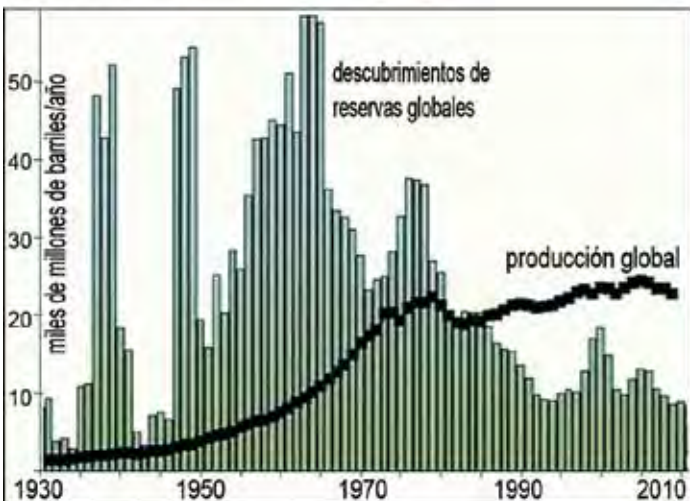
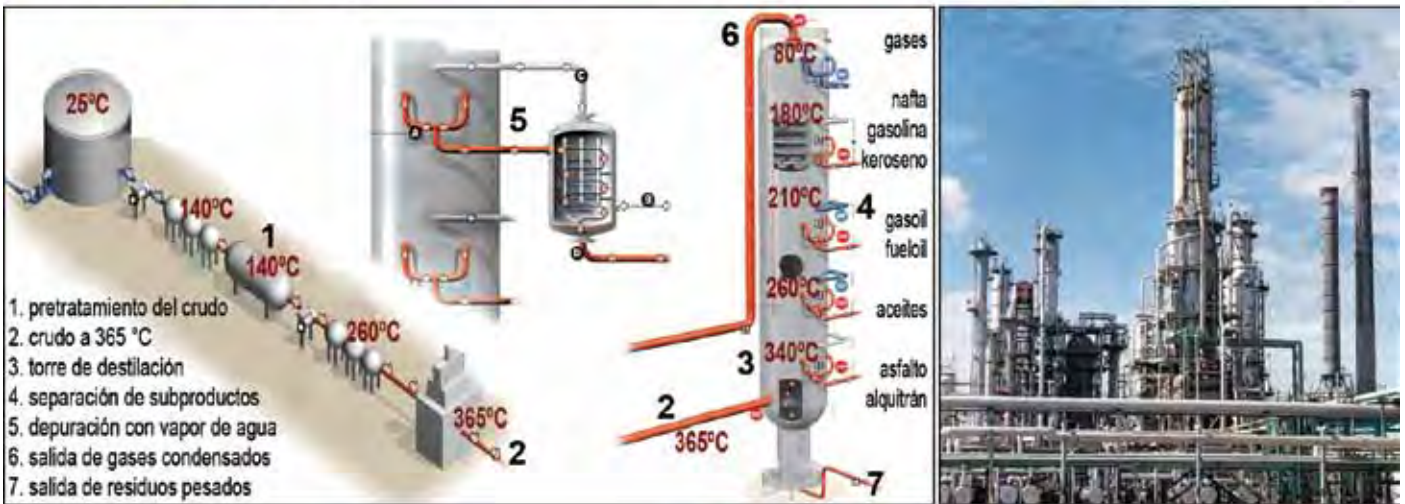
El origen. La forma más simple de obtener petróleo es cuando brota en forma natural por la presión interior (muy pocos casos hoy día). Pero, hace 6.000 años en Babilonia, se usaba petróleo que brotaba libremente para pegar ladrillos y piedras, en medicina y en el calafateo de embarcaciones. En Egipto se usaba para engrasar pieles; en América se pintaron esculturas con petróleo y en China se usaba como combustible. La primera destilación es del siglo IX para usos médicos y militares y en el siglo XVIII se obtenían derivados para el engrasado de máquinas. En el siglo XIX se usaban aceites fluidos para el alumbrado. Fue en 1859 que se perforó el primer pozo de petróleo y comenzó la era de los motores de combustión interna.

El petróleo es de origen fósil, resultado de la transformación de materia orgánica (zooplancton y algas) depositada en fondos anóxi-

cos (pobres en oxígeno) de mares o zonas lacustres. Fueron enterrados bajo capas de sedimentos y dieron lugar a lo que se conoce como rocas sedimentarias. Por ejemplo, la Plataforma Neuquina se formó entre 185-110 Ma cuando un mar poco profundo ocupaba el espacio entre el continente y un arco de volcanes en la actual cordillera de los Andes. Por millones de años fueron sometidos a procesos físico-químicos que dan lugar a un craqueo natural (rotura de moléculas largas en otras más cortas) debido a la acción del calor y presión. Así, se llegó a obtener desde el betún (casi un sólido de moléculas largas) a hidrocarburos cada vez más ligeros (líquidos y gaseosos de moléculas cortas). Los ligeros, al ser más livianos, ascienden hacia la superficie (por la menor densidad) entre los poros de las rocas sedimentarias. Bajo ciertas condiciones geológicas el ascenso se interrumpe al encontrarse con rocas impermeables y se forman los yacimientos (bolsas de hidrocarburos).

Son trampas petrolíferas de diferentes formas. En algunos casos la presión es tan alta que las capas adyacentes de arcilla (impermeables) se empapan de petróleo y se transforman en esquistos bituminosos.

La producción. El petróleo crudo es una mezcla de productos cuya calidad depende del origen, la que se caracteriza por color, viscosidad y contenido. Muchas veces la sola perforación de un pozo permitía que

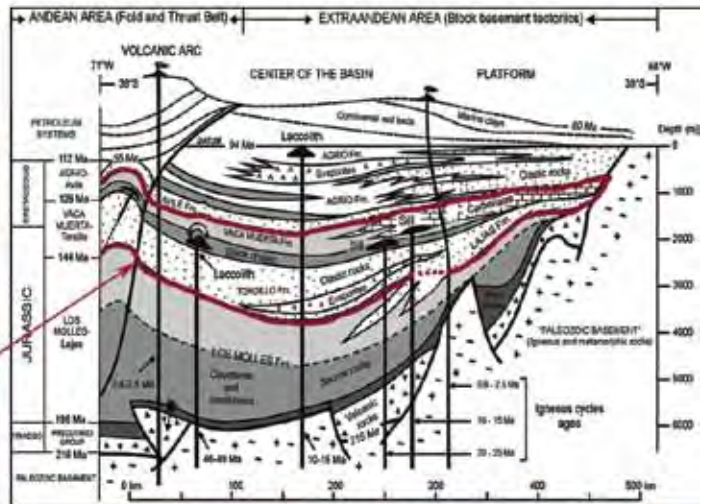
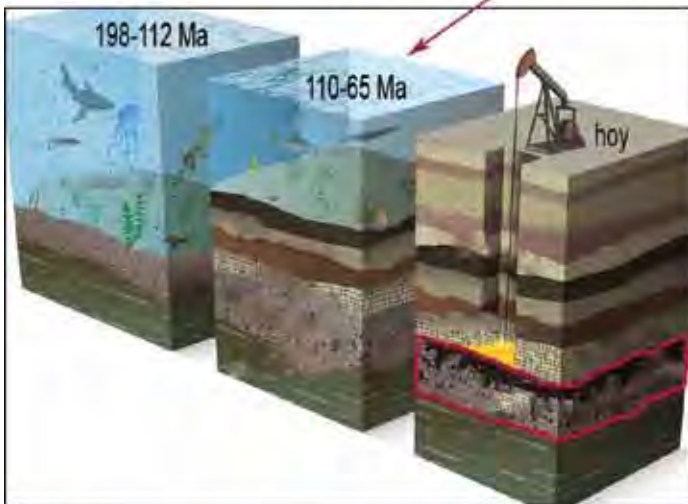
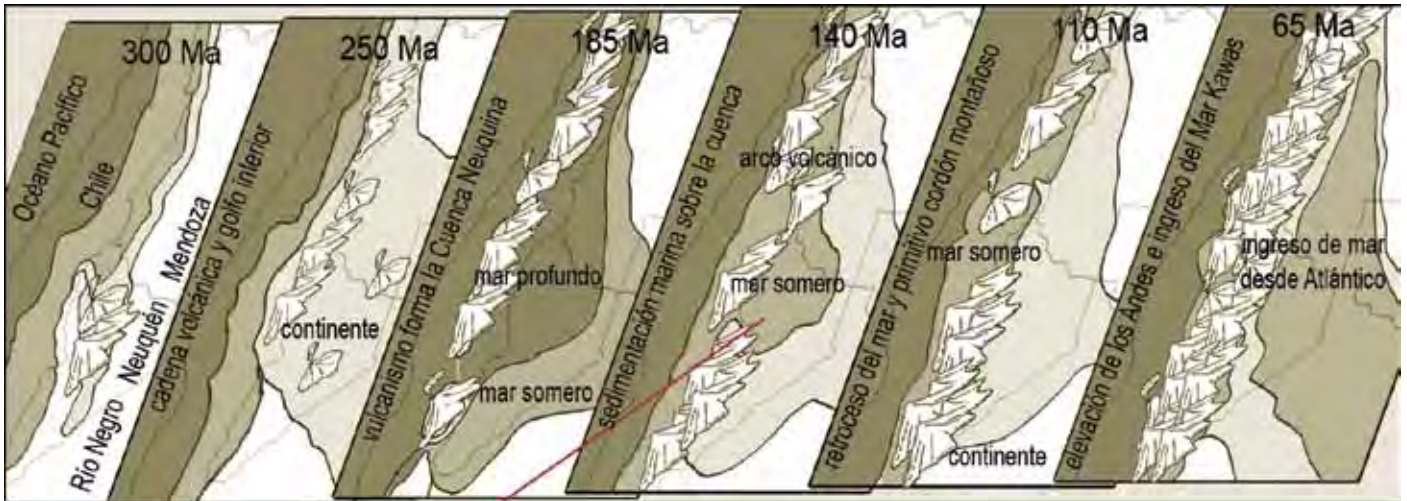


2211. Producción y refinamiento de petróleo. La extracción convencional de petróleo y gas se refiere a concentraciones donde los hidrocarburos se encuentran separados de la roca y son factibles de extraerse mediante bombas eléctricas desde la superficie (arriba). La ubicación de las reservas obliga a trabajos en superficie (onshore) y en el mar (offshore). Cuando las reservas convencionales se agotan es necesario llegar a lugares con petróleo menos accesibles y de menor calidad (reservas no convencionales). Las refinarias de petróleo (centro) permiten separar los componentes en torres de destilación mediante diferentes estratos diferenciados por temperatura. Se obtiene desde el alquitrán en la base con alta temperatura, hasta los gases en la parte superior a baja temperatura. Los descubrimientos de reservas nuevas son cada vez menos (abajo-izquierda) y la producción se estanca. El pico de producción de petróleo convencional ya se produjo, pero las áreas de petróleo no convencionales permiten mantener el ritmo de producción. El problema es que los costos para explotar las reservas no convencionales son más altos y superiores a las energías renovables. Esto debería llevar a un reemplazo a mediano plazo.

un planeta

la presión interior forzara la salida natural hacia la superficie. Durante la vida del yacimiento, la presión desde el interior desciende y en algún momento se requiere bombear el petróleo. La explotación de los pozos petroleros sigue una secuencia. En la fase primaria el petróleo fluye

por la presión interna sin asistencia externa y luego se usan bombas eléctricas para forzar la extracción. En la fase secundaria se inyecta agua o gas por un pozo vecino para ejercer una presión adicional desde abajo. También se puede inyectar CO₂ que es capturado en las



2212. La cuenca neuquina. La cuenca de hidrocarburos en Neuquén se formó en 198-112 Ma como resultado de una zona de mar poco profundo antes de la formación de la cordillera de los Andes (arriba). Existía una cadena de volcanes producto del choque de placas tectónicas, pero la cordillera no existía. La materia orgánica que se acumulaba en el fondo se transformó en gas y petróleo debido al aislamiento, incremento de temperatura y presión (centro-izquierda). Hoy día se encuentra enterrado a miles de metros, donde se destaca la formación Vaca Muerta a 3.000 m de profundidad (derecha), que se ha hecho famosa por la posibilidad de explotación mediante fracturación hidráulica. La explotación petrolífera es, junto con la minería a cielo abierto, uno de los mayores contaminadores del suelo. Como ejemplo se ofrecen los pozos abandonados en el Parque Nacional Callegua (Jujuy) y un derrame en la costa de Magdalena (Buenos Aires) en 1999 desde un carguero. Los problemas derivados de las operaciones de fracking en la cuenca del Neuquén son específicos y se muestran en otras figuras.

centrales eléctricas térmicas. En la fase terciaria se aplican técnicas para liberar el petróleo encerrado en la roca. La fracturación hidráulica destruye la roca madre para permitir que el gas y petróleo embebido pueda fluir. En yacimientos muy densos se trabaja para volver fluido al crudo extra-pesado. Las posibles técnicas son: incendios controlados dentro de la reserva; inyección de químicos o vapor (subfractantes) y métodos biológicos (bacterias que facilitan la liberación del crudo de la matriz de roca).

Desde la zona de extracción una red de oleoductos lleva el petróleo crudo hacia la refinería, donde se deshidrata y estabiliza eliminando los compuestos más volátiles. El conjunto de los tratamientos en la refinería incluye la destilación y refinación. El petróleo natural a alta temperatura (cerca de 400 °C) se introduce en la parte baja de la torre de destilación. Las sustancias que se evaporan llegan a la cámara inmediata superior algo más fría y se condensan las fracciones más pesadas (los aceites lubricantes). Pasando desde una cámara a otra (una más fría que la anterior), se condensan diferentes fracciones (desde los pesados a los livianos). La secuencia de condensación es: alquitrán, asfalto, aceites lubricantes, fueloil, gasoil, queroseno, gasolina, nafta y gases (metano, etano, propano y butano). Los cuales son respectivamente, sólidos, líquidos y gaseosos a temperatura ambiente.

Pico de petróleo. La teoría del pico del petróleo es una hipótesis acerca de la tasa de agotamiento a largo plazo. El geofísico M. Hubbert en 1956, predijo el pico de la producción de Estados Unidos con 15 años de antelación. La teoría indica que la producción llegará a un cenit y declinará tan rápido como creció. El cenit de descubrimientos a nivel mundial ya ocurrió, pero el cenit de producción depende de las técnicas de extracción. El límite de producción depende de los descubrimientos de nuevas reservas (lugares potenciales aun no explorados); aumento de la eficiencia (nuevas tecnología de extracción) y la puesta en producción de reservas no convencionales (no contabilizadas como reservas disponibles).

La IEA (*International Energy Agency*) publicó en el 2010 que la producción de petróleo crudo llegó a su pico en 2006. La ASPO (*Association Study Peak Oil*) considera que el pico del petróleo ocurrió en 2010. Estos datos pueden ser ciertos para la extracción convencional de petróleo. Pero, ¿Qué opinan los optimistas? Aseguran que las nuevas técnicas de extracción (como la fracturación hidráulica) permitirán seguir explotando los actuales pozos; dicen, por 100 años más. Las industrias petrolera y automotriz afirman que la teoría de Hubbert es falsa. Dicen que la escasez motivará la búsqueda de reservas nuevas y métodos de explotación para las conocidas.

Por ejemplo, el yacimiento Río Kern (California) se descubrió en 1899. En 1942 se había extraído 278 MB (millones de barriles de petróleo crudo) y se estimaba que quedaban 54 MB. Un barril de petróleo equivale a 159 litros y pesa entre 119 y 151 kg. Hacia 1995 el yacimiento había producido 736 MB adicionales y las reservas se estimaron en 970 MB. En el 2007 se anunció que en toda la historia se extrajeron 2.000 MB de crudo y las reservas eran de 627 MB. ¿Por qué estos gruesos errores de cálculo? Cada salto corresponde a una nueva tecnología de extracción. En los años '60 se empezó a usar la técnica de inyección de vapor al subsuelo para ayudar al bombeo de superficie. En este siglo se incorporó la fracturación hidráulica.

Esta prórroga del pico de petróleo ¿es una buena o mala noticia?

La limitación de los recursos petroleros pone un plazo a la extracción "barata y eficiente". Parece que las fuentes fósiles tendrán un período largo de decadencia. Las nuevas tecnologías son menos eficientes en términos económicos (TRE tendiendo a uno) y el impacto ambiental será muy elevado y quizás intolerable por una sociedad más informada. Si así fuera, quizás se llegue al pico de consumo antes que el de producción.

En el 2013 (*Climatic Change*, noviembre 2013) se completó un estudio que asignaba una emisión de GEI del orden de 914 Gt de CO₂ equivalente en el período 1751-2010 debido a razones humanas. El 50% correspondía a los últimos 25 años. Las 90 empresas con más emisiones acumulaban el 63% del total. De ellas, 83 empresas correspondían a energía (petróleo, gas y carbón) y las 7 restantes a minería de cemento. Entre ellas estaban empresas privadas (Chevrón, BP) y estatales (Gazprom de Rusia). Las empresas rusas generaban el 8,9% y las chinas el 8,6%. Entre las empresas privadas las más importantes eran Chevrón 3,5% y Exxon 3,2%.

Los problemas. La explotación petrolera tiene un impacto ambiental independiente del consumo de combustibles.

(1) Impacto en el suelo. Las zonas ocupadas (pozos, playas de maniobra, ductos) comprometen y degradan una gran superficie. Se debe al desmalezado; alisado del terreno; desplazamiento y operación de equipos pesados. Los derrames de petróleo y desechos producen la alteración del sustrato original dejando suelos inutilizables durante años. El mayor derrame de petróleo de la historia fue intencional. En enero del 1991, durante la retirada de Kuwait, las tropas iraquíes abrieron las válvulas de los pozos y se derramaron 1,77 Mt, más del doble de la plataforma Deepwater Horizon. El petróleo resultante llegó al mar y puso en peligro tomas de agua, plantas industriales y centrales eléctricas. Sin embargo, las acciones de rescate del petróleo permitieron que el impacto ambiental sobre el ecosistema de coral fuese muy reducido.

(2) Impacto en el agua. Las aguas superficiales son afectadas por el vertido de petróleo ya que disminuye el contenido de oxígeno y aporta sustancias orgánicas e inorgánicas. La salinidad en las aguas superficiales y subterráneas aumenta porque el agua de producción tiene alto contenido salino. Por ejemplo, en el Parque Nacional Calilegua (las yungas en Jujuy) se denunció la existencia de 24 pozos abandonados en el Yacimiento Caimancito. Se encuentran mal sellados, corroídos y con pérdidas. A muchos los "tragó" la selva y contaminan el suelo y el agua. La paradoja es que el Parque Nacional es una fuente de contaminación al exterior por los arroyos Yuto (con fenoles, cromo, y cloruros) y Sauzalito (con plomo, mercurio, cadmio y cromo). Uno de los pozos derrama 200.000 litros/día de agua contaminada con sales (100 gr/litro) y a temperatura de 60-70 °C.

(3) Impacto en el aire. El principal problema es por el venteo de gas. La captación y uso del gas en la boca del pozo depende de la relación gas/petróleo. Si la relación es alta, el gas es capturado; y si es baja, es venteado o quemado por medio de antorchas. El gas natural está formado por hidrocarburos livianos (metano) y puede contener CO₂, monóxido de carbono y ácido sulfhídrico. Si el gas de salida contiene estos componentes, se quema. Si es solo CO₂, se ventea. El venteo y la quema de gases contamina extensas zonas en la dirección de los vientos y las llamas se observan desde el espacio.

(4) Impacto en el ecosistema. Las explotaciones petroleras reducen la disponibilidad de arbustos, matorrales y pasturas. Se eliminan refugios y alimento para la fauna. Se abren caminos, aumenta el tránsito e ingresan cazadores furtivos. Las aves son las más afectadas, por el contacto directo con los cuerpos de agua, vegetación contaminada o por envenenamiento por ingestión. En las zonas costeras o mar adentro (off shore) los derrames de hidrocarburos producen daños irreversibles sobre la fauna marina. También el transporte marino produjo accidentes con graves consecuencias ecológicas.

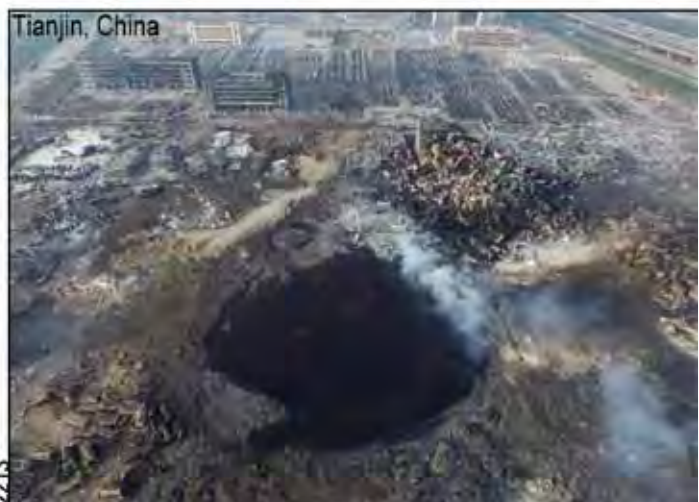
La industria química. Se ocupa de obtener y procesar materias primas naturales o sintéticas. La "industria química de base" elabora productos intermedios que sirven como materia prima para el resto de la industria. La "industria química de transformación" produce colorantes, fertilizantes, plaguicidas, plásticos, etc. El primer producto químico industrial fue el ácido sulfúrico, al inicio de la Revolución Industrial. Recién en la mitad del siglo XIX se empezó a trabajar con derivados del petróleo y se introdujeron los primeros plásticos (celuloide). El etileno es un derivado del petróleo y junto con el cloro (obtenido de la sal) forman la base para la elaboración de plásticos. Un producto inter-

medio son los monómeros de vinilo-clorado (muy tóxicos) con lo que, mediante polimerización, se llega al PVC (policloruro de vinilo). Con diferentes aditivos se obtienen la textura y color particular de cada producto. El PVC es especialmente tóxico cuando se incinera porque libera compuestos organoclorados y la práctica de poner aditivos impide el reciclaje. La industria química tiene una tercera parte de su actividad como derivados del petróleo (plásticos y fibras) y otra tercera parte son sustancias farmacéuticas (vitaminas, pesticidas, etc).

Por ejemplo, en México se realizó un inventario de 30.000 toneladas de materiales contaminados con BPC (bifenilo policlorados) que deben ser tratados. Los aceites BPC se usan como aislantes de transformadores eléctricos donde se requiere resistencia al fuego. Los productos de la combustión térmica del BPC genera tóxicos para los seres vivos. Estos aceites se han prohibido pero aun quedan en uso y en el ambiente. El estudio en México llegó a la conclusión que un problema es el uso de malas prácticas de manejo en talleres de mantenimiento.

Los problemas. La industria química produce una contaminación "gota a gota" y accidentes puntuales resonantes. Otro aspecto es la

SYMBOL	ABBREVIATION	NAME	CLASS	STATUS	PROPERTIES	TOXICITY	USE	STATUS	USE	STATUS
HS	Herb Agent	ARSENITE	Gas	...	...	...	...	...	...	...
HI	Herb Agent	LEPHOS	Gas	...	...	...	...	...	...	...
ED	Empoisoning Agent	...	...	...	...	...	...	...	...	...
PS	Psychic Agent	...	...	...	...	...	...	...	...	...
DP	Disorder Agent	...	...	...	...	...	...	...	...	...
CG	Chemical Gas	...	...	...	...	...	...	...	...	...
CN	Cyanide	...	...	...	...	...	...	...	...	...
CA	Chlorine	...	...	...	...	...	...	...	...	...
DM	Diphosgene	...	...	...	...	...	...	...	...	...
DS	Diphosgene	...	...	...	...	...	...	...	...	...
HC	Hydrocyanic Acid	...	...	...	...	...	...	...	...	...
FS	Ferrous Chloride	...	...	...	...	...	...	...	...	...
FM	Ferrous Chloride	...	...	...	...	...	...	...	...	...
DA	Diphosgene	...	...	...	...	...	...	...	...	...
WP	White Phosphorus	...	...	...	...	...	...	...	...	...
TH	Thionyl Chloride	...	...	...	...	...	...	...	...	...
CL	Chlorine	...	...	...	...	...	...	...	...	...



2213. La industria química y sus problemas. La industria química lleva una pesada carga de productos peligrosos. Una rama triste de la química son los usos como armas químicas (arriba-izquierda). En otro orden los productos usados en la explotación petrolera como en el fracking (derecha) son motivo de controversia por la toxicidad. El mayor desastre de la industria química ocurrió en Bhopal-India (abajo-izquierda). Uno caso reciente ocurrió en Tianjin-China en el 2015 (derecha). En la explosión intervinieron 700 toneladas de cianuro de sodio y otros compuestos muy reactivos y tóxicos. Se evacuó una zona de 3 km de diámetro, se contaron casi 2 centenares de muertos y un millar de heridos. Se cree que el agua usada por los bomberos para apagar un incendio produjo la reacción química que terminó en una gran explosión y dejó el enorme cráter.

mala fe en el uso de la información. El mayor desastre de la industria química ocurrió en 1984 en Bhopal (India). En la planta de pesticidas de Union Carbide (actual Dow Chemical) se liberó un compuesto que generó en la atmósfera varios gases tóxicos (entre ellos el ácido cianhídrico). La nube letal inundó la ciudad y se estima que 20.000 personas murieron y 600.000 fueron afectadas. Los factores que contribuyeron al desastre fueron: la planta química estaba ubicada en una ciudad densamente poblada; el uso de ingredientes químicos peligrosos (como el isocianato de metilo); almacenaje en grandes tanques en lugar de varios pequeños; posible corrosión de los metales en las tuberías; mantenimiento deficiente en la planta química; ausencia de sistemas de seguridad que estaban fuera de servicio en ese momento; políticas de personal deficientes (escaso número de empleados contratados y con pobre capacitación).

Otro accidente resonante fue en la planta de herbicidas en Seveso (Italia) en 1976. Trabajaban con la dioxina TCDD, una de las más letales. Debido a un error humano se propagó una nube que afectó a 18 km². Si bien no hubo muertos, se produjo pánico y 3.000 animales murieron al quedar solos y alimentarse de vegetales contaminados y otros 80.000 fueron sacrificados para evitar que ingresaran en la cadena trófica. Las conclusiones indicaron que las operaciones de seguridad fueron mal coordinadas e incompetentes. Se tardó una semana en decir que la dioxina había sido emitida, y otra semana hasta que empezó la evacuación. Muy pocos estudios científicos había demostrado el peligro de la dioxina hasta ese momento, y apenas habían regulaciones industriales. La población local no supo qué hacer y se sintió asustada, siendo una experiencia traumática para esas pequeñas comunidades rurales. En la época del desastre, muchos científicos habían sostenido la posibilidad de una verdadera y concreta "epidemia" en el área. Hoy día, algunas investigaciones científicas dicen que el número de muertes por cáncer permanecieron en el mismo promedio.

Italia también es centro del manejo mafioso de residuos industriales tóxicos. En el área de Calvi Risorta (Nápoles) se descubrió en el 2015 el vertedero tóxico ilegal más grande de Europa. La zona tiene una tasa de cáncer 80% más alto que el promedio nacional. Son 2 millones de m³ de material peligroso, incluyendo paquetes de 25 kg de residuos industriales franceses y contenedores con disolventes. La organización mafiosa Camorra maneja este vertedero de 60 hectáreas, con el sello de Casalesi (famosa por la película *Gomorra*). El grupo ecologista Legambiente advirtió que la mafia maneja 20.000 millones de euros al año para enterrar metales pesados y compuestos orgánicos. A la Camorra se le culpa de fomentar el cierre de plantas de incineración oficiales para aumentar la demanda de servicios ilegales.

Además de los peligros de la industria química (accidentes y contaminación), se encuentra la mala fe comercial. En un estudio del 2011 en California sobre detergentes y líquidos de lavar se estudió el origen de los átomos de carbono. El carbono que procede de un vegetal y el que procede del petróleo se diferencia por la concentración de isótopos (C-12 y C-14). Se utiliza la misma técnica usada en la datación de artefactos en arqueología para estimar la fecha en que fueron fabricados. Si un producto de limpieza se dice "verde" (natural o ecológico) debería contener la mayoría o totalidad de carbono vegetal (actual). Sin embargo, en el estudio se encontraron variaciones del 30 al 95% de carbono de origen vegetal (el complemento proviene de petróleo). Los productos denominados "verdes" tenían un 50% más de carbono vegetal. Un producto que se decía "libre de petroquímica" tenía el 31%

de carbono no vegetal. Otro estudio concluyó que los consumidores perciben que un producto "verde" se logra sacrificando la calidad del original.

El caso: "asbesto". El asbesto o amianto es un mineral fibroso, compuesto de silicatos y usado en innumerables aplicaciones. Las autoridades médicas demostraron en los años 80 que el asbesto provoca cáncer con elevada mortandad. En el 2005 se prohibió el uso en la Unión Europea y continúa el uso en algunos países en vías de desarrollo. El asbesto en algunas formas está prohibido por el Convenio de Rotterdam y en otras es posible la exportación solo con permiso del gobierno que lo importa. En 1900 se extraían 30.000 toneladas anuales, llegando a un máximo en 1975 con 5 Mt. Luego de escándalos en 1995 bajó a 3 Mt. Canadá fue uno de los primeros países en prohibir la manipulación del amianto, pero a la vez es uno de los principales exportadores a países sin legislación restrictiva, como India. Esta contradicción provoca protestas internacionales. Pero otros países desarrollados llevan materiales para reciclar con asbesto a países en vías de desarrollo. El problema del reciclaje de materiales peligrosos (electrónica) es una constante de la industria.

La química farmacéutica. Hoy día la industria química de medicamentos se especializa en la síntesis de moléculas. Pero, en la primera etapa de la historia, la farmacéutica usaba componentes naturales tomados de las plantas. Hace 5.000 años en China se conocían las propiedades del té, en tanto los griegos le adjudicaron la importancia debida al estudio de todas las plantas. Los animales usan las plantas como medicina natural. Por ejemplo, en 1987 se observó que algunos chimpancés de Tanzania consumían corteza del árbol venenoso *Vernonia*. Quienes hacían esto tenían exceso de parásitos (gusanos nematodos) en el intestino y un día después se reducían en un 88% en las heces. Las cabras consumen plantas con tanino contra los nematodos. Otra forma usada por los animales (gansos, osos y gibones) es tragar hojas con pelos, sin masticar, para atrapar los gusanos intestinales. En el 2011 se publicó un estudio sobre 341 plantas de la flora nativa de Perú que usan los curanderos en la medicina tradicional. El 25% de los extractos de agua y el 75% de los extractos de alcohol tenían niveles de toxicidad elevados. Los niveles varían de acuerdo con el momento de la cosecha, localidad y uso de partes específicas. La medicina tradicional merece una atención esmerada para la conservación de la flora, las costumbres y la seguridad en la salud.

Con la revolución industrial, se logró sintetizar moléculas. La primera fue la urea en 1828, derivada del cianato de amonio. Los medicamentos actuales son casi en su totalidad sintéticos (construidos a partir de moléculas más pequeñas) y la mayoría de los costos se deben a la etapa de ensayos clínicos para la aprobación y el marketing. Se estima entre 80 y 800 Mus\$ el costo de cada medicamento nuevo puesto en el mercado. Una causa que justifica los altos costos de desarrollo es la "catástrofe de la Tolidomida". Fue un fármaco comercializado entre 1958 y 1963 como sedante y calmante durante los primeros meses de embarazo. No tenía casi contraindicaciones cuando salió al mercado. La empresa alemana que lo desarrolló (Grünenthal GmbH) se dedica al tratamiento del dolor. En el corto período de venta de la Tolidomida produjo 80.000 muertes de neonatos y 20.000 nacimientos con mutilaciones. Esta catástrofe obligó a generar sistemas más exigentes de pruebas para medicamentos. Hoy día, algunos piden sistemas similares para las tecnologías nuevas (transgénicos y fracking), ya que los problemas podrían verse mucho después de la liberación al mercado.

Las objeciones. Los aspectos objetados de la industria farmacéutica son: (1) La oposición entre ganancias y salud pública, vista como un derecho humano. Los altos costos de investigación y desarrollo declarados por la industria se deben en gran parte al marketing de los productos (p.e., estudio de mercado y competidores, patentes, distribución, publicidad, altos salarios). Esto es coherente con la difusión de “supuestas” enfermedades y la necesidad de (auto)medicación para problemas derivados del modo de vida moderno (vejez, estética). (2) “Nuevos medicamentos” que provienen de otros. Se estimó que el 90% de los nuevos fármacos no representan una mejora terapéutica y que los cambios son realizados por razones de marketing y vencimiento de patentes. Versiones de medicamentos de otras empresas (“yo también”) o de la misma compañía (“yo otra vez”). Las “novedades terapéuticas” son una carga sobre el sistema de salud. (3) El impacto sobre el ambiente y la vida silvestre de los residuos de fármacos que ingresan al agua a través de la orina o por descarte. Se desconoce aún el efecto del consumo de bajas concentraciones de medicamentos a lo largo de los años. (4) Los aspectos morales involucrados en el uso de animales de laboratorio para las pruebas de medicamentos antes de pasar a la fase de pruebas clínicas en humanos. (5) La manipulación de resultados de laborato-

rio. En el 2012 un grupo de investigadores independientes informó del intento de replicar 53 estudios para el tratamiento temprano del cáncer. Resultado: 47 de los 53 no pudieron ser replicados. (6) Los ensayos en humanos se hacen sobre los grupos más desfavorecidos. En Estados Unidos, los latinos están presentes en los ensayos con una tasa 7 veces mayor. En tanto, los ensayos se desplazan a China e India. El costo en Estados Unidos es de 30.000 us\$/paciente y en Rumania la décima parte.

En paralelo se encuentra la proliferación de sustancias “naturales” y la falta de conocimiento y control sobre la botánica-farmacológica. Además, existe una abundancia de medicinas alternativas (acupuntura, quiropráctica, homeopatía, medicinas orientales). Se objetan diversos aspectos: las carencias en cuanto a conocimiento sobre dosis, replicación y seguridad; la falta de ensayos adecuados; el uso de suplementos naturales regulares sin control. Un problema importante de este tipo de medicina es que puede retrasar la aplicación de la medicina convencional. En Noruega, un estudio sobre 515 casos mostró que la mortalidad por cáncer era 30% más alta en enfermos que usaban medicina alternativa. Los defensores indicaron que el objetivo no es aumentar la sobrevida sino mejorar la calidad de vida.

Las explotaciones en alta mar (*offshore*)

Tecnología offshore. El término se refiere a la explotación petrolera en la plataforma continental (formaciones rocosas del subsuelo marino), aunque incluye lagos, aguas costeras y mares interiores. Hay diversos tipos de plataformas desde donde se trabaja: autoelevables y fijas al suelo; unidades móviles de perforación; semi-sumergibles y buques de perforación y tanques. En aguas poco profunda (300 m) las unidades están fijas o ancladas, pero a mayor profundidad se mantienen inmóviles usando posicionamiento dinámico. Buques como los de producción flotante con almacenaje y descarga (FPSO) operan hasta 3.000 m de profundidad. Desde la plataforma se perfora el pozo y se entuba para la extracción del petróleo. El petróleo se puede transportar por ductos hasta la costa; puede ser accesible mediante una boya para carga o mediante una conexión desde la plataforma FPSO hasta un buque-tanque. Los desafíos en este tipo de operación son muchos y el impacto ambiental grave (aunque sean invisibles). El océano añade cientos de metros en una columna de agua, lo que aumenta la densidad del líquido y las presiones del fondo del pozo, así como la energía necesaria para bombear el petróleo.

El caso: “Presalt (Brasil)”. Esta es la exploración offshore más importante de Sudamérica. El origen de la formación ocurrió en la separación de Sudamérica y África (Gondwana) hace 142 Ma. Se formaron pequeños mares interiores donde se criaba el plancton (similar al actual Mar Rojo o al que dio origen a la plataforma neuquina). La acumulación en un fondo con poco oxígeno no permitía la descomposición completa. Los cambios climáticos produjeron sequías alternadas que generaron capas de sal que formaron rocas bajo la superficie del Océano Atlántico (3.000 y 5.000 m). El petróleo a explotar (Petrobras), está debajo de esta capa (5.000-7.000 m) y se denomina Presalt. Descubierta en el 2006, Presalt coloca a Brasil como sexto país en reservas petrolíferas.

La explotación requiere una tecnología compleja, peligrosa y costosa. Se debe trabajar en aguas ultra-profundas y a 300 km de la costa en condiciones oceánicas graves con elevada presión, baja temperatura y alto contenido de CO₂. La tecnología debe aprender a interpretar la información de diagnóstico debajo de la capa de sal. Deben usarse aceros que resistan el gas de sulfuro de hidrógeno a presiones extremas y minimizarse la emisión de CO₂ a la atmósfera. El petróleo sale extremadamente caliente y contrasta con las aguas frías, lo que puede producir precipitaciones en los conductos hasta la plataforma. Se estima que los costos de extracción son el doble de la convencional y solo es posible si el valor del petróleo se mantiene por encima de 100 us\$/barril (similar al fracking).

Los riesgos. La naturaleza de la operación offshore (extracción de sustancias volátiles bajo presión extrema en un ambiente hostil) es peligrosa de por sí. Solo en las plataformas del Golfo de México, en 2001-2010 se contaron 69 muertes en alta mar, 1.349 heridos y 858 incendios y explosiones. En 1988, 167 personas murieron cuando *Piper Alpha* (plataforma de Occidental Petroleum), explotó en el Mar del Norte después de una fuga de gas. En el Mar del Norte, el personal se cambia en helicóptero cada dos semanas, mientras los suministros y residuos se transportan por barco ya que el espacio en la plataforma es limitado.

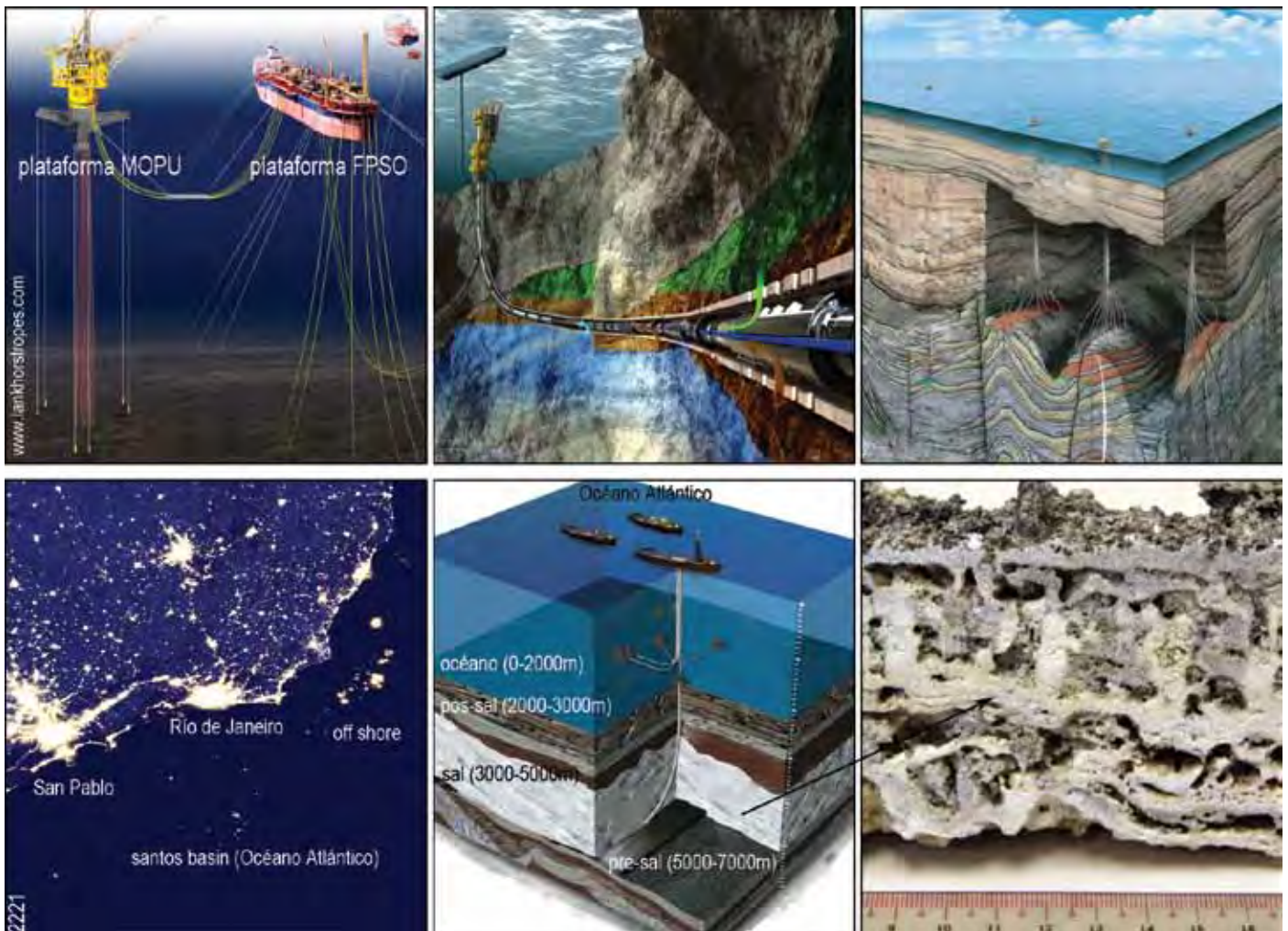
El impacto ambiental es amplio: ruido de explotación que afecta a los mamíferos marinos; contaminación luminosa nocturna con efectos sobre los invertebrados; se desecha iodo y recortes de la perforación lo que altera el fondo marino; se descartan residuos y efluentes desde la plataforma (agua con aceites, efluentes domésticos y sanitarios); se liberan gases a la atmósfera; impacta sobre otras actividades como la pesca, turismo, tráfico marino y áreas naturales protegidas. En los

Estados Unidos las plataformas de petróleo frente a la costa de California se mantendrán como arrecifes artificiales, en lugar de ser desmontadas. Se encontró que son usados por muchas especies de peces que están disminuyendo en la región. En el Golfo de México, más de 140 plataformas se convirtieron de manera similar.

El caso: "Deepwater Horizon". El 20 de abril de 2010 en el Golfo de México, un escape provocó una explosión en Deepwater Horizon (plataforma semisumergible de British Petroleum) y dos días más tarde se hundió. La fuga desde el pozo en el fondo del mar a 1.500 m de profundidad fue de 5.600 a 9.500 m³/día. Como resultado se formó un derrame no controlado de 6.500 km² de extensión frente a Luisiana y Mississippi. El 5 de agosto del 2010 la compañía anunció que la operación de sellado del pozo petrolífero había concluido.

El vertido de petróleo causó graves daños ambientales, por su elevada toxicidad y por el descenso en las concentraciones de oxígeno de la zona. Ocho Parques Nacionales estuvieron amenazados y varios miles de animales se contabilizaron muertos. Se observaron delfines incapaces de encontrar alimento y que actuaban "como borrachos" a causa del vertido. Se estima que el ecosistema tardará años y hasta décadas en recuperarse. Los costos de limpieza, ayudas e indemnizaciones fueron de 3.300 Mus\$ iniciales; más un fondo adicional de 18.000 Mus\$ para futuras acciones e indemnizaciones; las pérdidas bursátiles fueron de 15.000 Mus\$ (caída del 40% de las acciones); y el petróleo vertido se valuó en 29.000 Mus\$.

Cinco años más tarde, la NWF (*National Wildlife Federation*) realizó un balance. Los delfines tenían una tasa de muerte 4 veces más alta que antes del accidente. La cantidad de nidos de tortugas marinas ha descendido. Murió el 12% de pelícanos y 32% de gaviotas. Compuestos del petróleo se encontraron en huevos de pelícanos. La exposición al petróleo generó un desarrollo anormal en los peces. Además, pueden alterar la función del corazón en el atún rojo y el rabíl. Por ejemplo, los HAP (hidrocarburos aromáticos policíclicos) pueden ser perjudiciales para el corazón de los peces embrionarios y en desarrollo. El HAP puede bloquear el intercambio de iones en la pared celular e inhibir las contracciones para el latido. Una consecuencia similar podría ocurrir en las ciudades debido a los escapes del transporte, que se refleja en el aumento de problemas cardíacos los días con mucho smog. Otra consecuencia se observó sobre la comunidad de corales cerca de la cabeza del pozo. Lo interesante es que, en búsqueda de consecuencias del derrame de petróleo, se encontraron zonas afectadas por las operaciones profundas de pesca en alta mar. Esta actividad está



2221. Producción petrolera offshore. Las plataformas para trabajos en alta mar pueden ser fijas MOPU para baja profundidad o móviles FPSO para profundidades grandes (arriba). Como ejemplo de operación offshore de alta complejidad se muestra la exploración Presalt en Brasil (abajo). Las reservas de petróleo se encuentran a más de 5.000 m de profundidad con 2.000 m de océano en medio. La capa de sal se remonta a la apertura del océano Atlántico cuando se enterró lo que fuera la base de los primeros mares. Es la operación más riesgosa en Sudamérica.

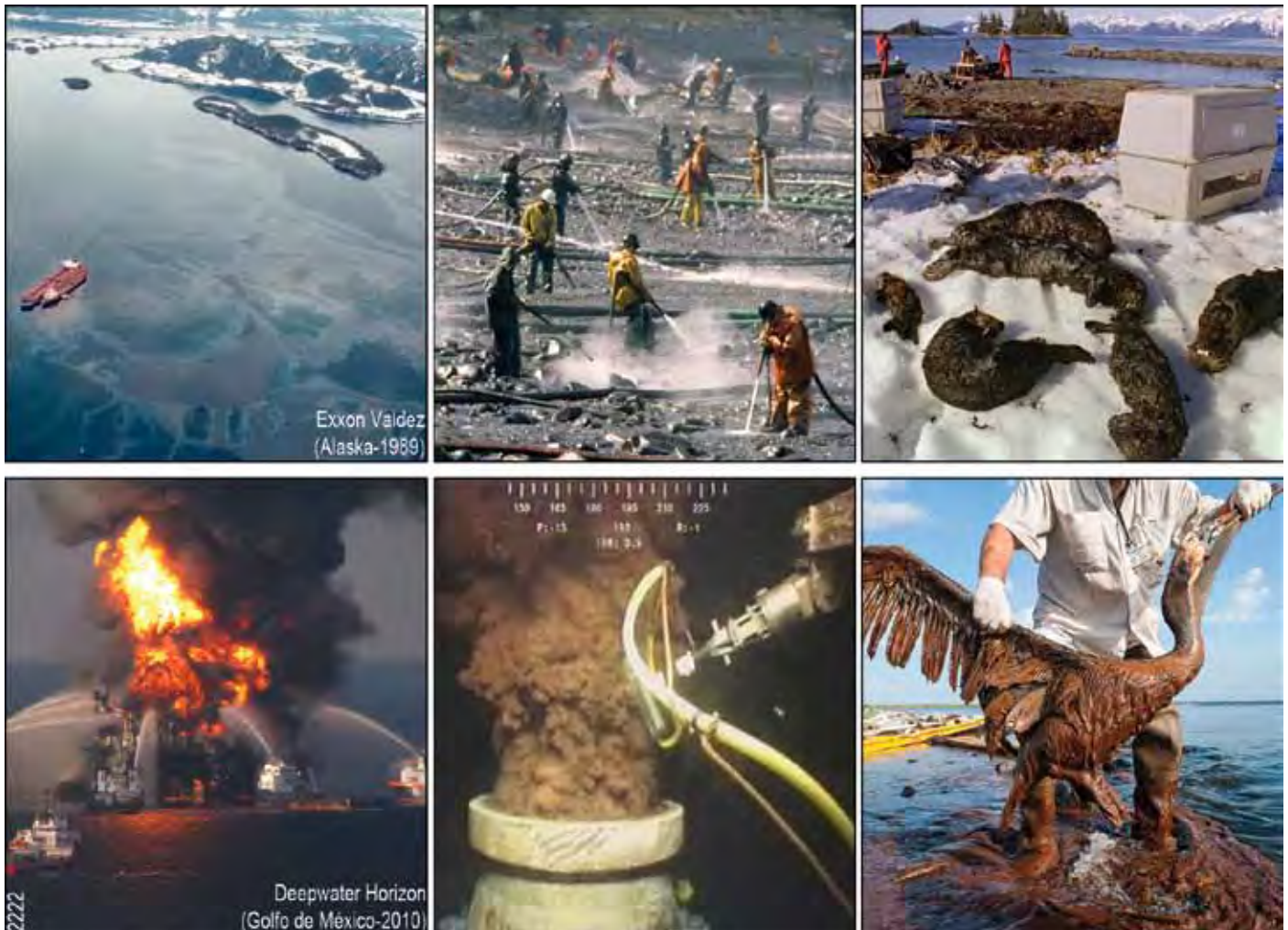
desertificando los mares. Los estudios posteriores confirmaron que la mayoría del petróleo derramado está estancado en el fondo del mar en las cercanías del punto de salida.

Del análisis de la cobertura periodística de los desastres ambientales se concluyó que la tendencia es a culpar a la empresa y desviar la atención de la industria del petróleo en general. La secuencia "mediática" es la siguiente: segregación (separar el problema), excepción ("era previsible"), castigo (la penalización a la empresa) y restauración (como se deshace del daño). Así, el ciudadano tiene la imagen que las amenazas son monitoreadas y los controles suficientes, un problema puede interrumpir la confianza pero luego es reparado. La industria queda indemne mientras se encuentra un culpable.

Ruido antropogénico. Para la exploración marina se utilizan pistolas sísmicas de aire comprimido (airgun seismic). Generan potentes ondas de sonido en el agua de hasta 250 dB (100.000 veces más potentes que un motor a reacción con 200 dB). En el fondo del mar se convierten en ondas sísmicas que rebotan en las capas de terreno y son detectadas por un sonar. Esta operación se realiza las 24 horas del día y durante semanas. Permiten "iluminar" las estructuras geológicas

enterradas que podrían contener petróleo. Para las especies marinas que dependen del sonido para la vida esto se convierte en un ruido de fondo intolerable. Podrían afectar las conductas e incluso producir daños en el sistema auditivo. El sonido de baja frecuencia puede viajar lejos. En los '90 un experimento mostró que el sonido emitido desde la isla Heard (cerca de Australia) se recibió en el Atlántico Norte y Sur. El sonido de las airgun se registró a 4.000 km de distancia. Esto significa que no solo el ruido submarino local es importante, sino que podría afectar a las condiciones ambientales de sonido del océano. Imagine una carga de dinamita que estalla en su casa cada 10 seg durante semanas. Esta pesadilla ocurre para los animales marinos debido a las pruebas militares y civiles.

Por ejemplo, en las costas del Perú se contaron cerca de 900 delfines muertos. Las necropsias mostraron sangre saliendo de sus oídos y fracturas en los huesos del oído. Si una ballena se vuelve sorda, se desorienta y muere de hambre. También podría interrumpir la anidación de tortugas marinas y afectar a las economías turísticas y pesqueras de la costa. En Escocia, el varado y muerte de 19 ballenas en 2011 se debió a 4 grandes explosiones submarinas de la Royal Navy. De un grupo de 70, quedaron varadas 39, de las que se reflotaron a



2222. Derrames de petróleo en el mar. El desastre Exxon Valdez (24 marzo de 1989) ocurrió en Alaska cuando el petrolero encalló en las costas. Vertió 37.000 toneladas de hidrocarburos al agua y afectó a 2.000 km de costa (arriba). Para la limpieza se usaron 4 métodos: dispersantes químicos (fallaron porque no se mezclaban con el petróleo); limpieza mecánica manual (aunque las algas impidieron los trabajos); la quema del combustible (logró reducir el material disperso al 1%) y microorganismos (se usaron arqueas que metabolizaron los hidrocarburos). La plataforma Deepwater Horizon (abajo) se incendió en el Golfo de México (22 abril de 2010) y permaneció varios meses liberando petróleo desde la boca del pozo en el fondo del mar (centro). La mayoría del derrame permanece aún inmóvil en el fondo del océano cerca del pozo.



2223. Dos peligros: ruido antropogénico y Alaska. El ruido de baja frecuencia puede viajar muy lejos, cubriendo medio planeta. Las fuentes de ruido son: explosiones de bombas, pruebas de sonar y las *airgun-seismic* de las empresas exploradoras petroleras (arriba). Las airgun son bomba de disparos periódicos que producen explosiones de 250 dB que permite estudiar el subsuelo bajo el mar. Otra fuente de ruido es el transporte marítimo (centro-izquierda). El ruido afecta la capacidad de localización y orientación de muchos animales marinos y las economías turísticas y pesqueras. Por ejemplo, en el 2011 en Escocia, vararon y murieron 19 ballenas debido al daño del sistema auditivo producido por el ruido, lo que las dejó sordas e incapaces de orientarse (derecha). Las explosiones submarinas pueden producir la pérdida de audición en las ballenas; pueden inducir stress (dejan de cantar cuando hay explosiones) y obligarlas a hundirse en lugar de huir del área; pueden retrasar la fecha de migración o hacer cambiar la ruta migratoria. En ballenas en cautividad, las explosiones aumentaron los niveles de norepinefrina y dopamina (stress), de forma que si se mantiene puede producir cambios fisiológicos crónicos e inhibir el sistema inmunológico. Las exploraciones del Ártico tienen buenas perspectivas de producción de gas y petróleo (abajo-izquierda). Pero los problemas y riesgos son muy altos. La plataforma Kulluk (centro) encalló tras una tormenta en la costa de la isla Sitkalidak en Alaska en el 2012 mientras era remolcada para pasar el invierno en puerto seguro. La cúpula de contención del Artic Challenger (derecha) se destruyó luego de las pruebas en el 2012.

20. El informe científico indicó que el ruido ocurrido el día anterior al varado habría dañado las habilidades auditivas y de navegación de las ballenas. Las bombas provienen de pruebas de tiro sobre una isla, algunas bombas caen al mar, son localizadas y explotadas en el lugar por razones de seguridad. Los ruidos fuertes pueden dañar las células ciliadas en los oídos de las ballenas vitales para detectar cambios de presión, lo que les deja "funcionalmente sordas". Esta especie de ballena es conocida por seguir a otros miembros y parecen asustarse con relativa facilidad.

En California, la muerte de 6 ballenas varadas se atribuyó al uso del sonar por la US Navy. La ballena mostraba signos de hemorragia muscular, una lesión asociada a la muerte por sonar. El sonar causaría alteraciones en los patrones de migración, alimentación, crianza y capacidad de escuchar y comunicarse. Las pruebas de sonar obligan a los animales a cambiar sus patrones migratorios, lo que resulta en muertes por deshidratación. El sonar crea ondas sonoras que se reflejan como un eco en el fondo pudiendo dar lugar a la pérdida temporal y permanente de audición, el abandono del hábitat, la interrupción de apareamiento y alimentación, varamientos de playa e incluso la muerte. "Una ballena sorda es una ballena muerta" y el tráfico marítimo, la exploración de petróleo y gas, las actividades de investigación científica, y el uso de sonares militares y equipos de comunicación han provocado un aumento en el ruido del ambiente marino de dos órdenes de magnitud en los últimos 60 años. Se cita la seguridad nacional como una razón para continuar los ejercicios de práctica con sonares.

El Ártico. En el 2013 el barco *Sunrise* de Greenpeace realizó una protesta en la plataforma *Pirazolomnaya* de la empresa rusa Gazprom, la primera en operar en el Ártico. Esta acción fue respondida por la guardia costera rusa deteniendo a 30 activistas (entre ellos 2 de la Argentina y uno de Brasil). Fueron acusados inicialmente del delito de piratería y luego liberados mediante una amnistía. Se asegura que el barco se encontraba en aguas internacionales y que la protesta era

pacífica. Greenpeace está acostumbrado a este tipo de acciones. En 1985 los servicios secretos franceses hundieron su barco *Rainbow Warrior* mientras protestaba contra las pruebas nucleares en el Atolón de Mururoa (Pacífico Sur).

Estos acontecimientos pusieron en la prensa mundial el peligro de la explotación offshore en el Ártico. La petrolera Shell obtuvo permisos para explorar el Ártico (Alaska), pero antes debía demostrar que disponía de la tecnología para contener un derrame de petróleo. Paralelamente, Shell se asoció con Gazprom para la explotación de petróleo en el Ártico Ruso y el esquisto bituminoso en Siberia.

Las pruebas de Shell en Alaska en 2012 fueron un fracaso. La plataforma *Kulluk* estaba siendo remolcada para pasar el invierno en un puerto seguro cuando una tormenta la arrastró hasta encallar con una isla. La evaluación posterior indicó que no podría entrar en servicio en el corto plazo. En paralelo, la cápsula Ártico *Challenger*, diseñada para contener un eventual derrame de petróleo, colapsó en el intento. Esta cápsula de acero es una cúpula de contención que funciona como aspiradora gigante, absorbiendo el petróleo y entregándolo mediante un tubo hasta un buque cisterna. El accidente ocurrió cuando huían de un iceberg de 30 km, lo cual muestra que las empresas petroleras no son rivales para el Ártico. Esta cápsula fue luego reforzada y vuelta a probar. Sin embargo, en el 2014, Shell informó de la paralización temporal de las actividades en el Ártico por razones económicas (coincidente con la caída del valor del crudo en un 50% lo que hacía inviable las explotaciones no convencionales).

Trabajar en el Ártico, lejos de los lugares de abastecimiento y en condiciones adversas pone en serio riesgo un ambiente prístino. Los pueblos nativos también expresaron su oposición siendo que obtienen el alimento de los animales marinos. En las aguas heladas el petróleo se degrada lentamente y el clima podría hacer imposible la limpieza en caso de un derrame como en el Golfo de México.

El gas, el más limpio de los combustibles fósiles

El gas es propuesto como energía de transición para producir electricidad entre los combustibles pesados (carbón y diesel) y las energías renovables. El gas natural se quema más limpia y eficazmente, no emite óxidos de azufre y tampoco produce partículas sólidas (cenizas). Produce menos CO₂ que otros combustibles, sobre todo que el carbón. El metano tiene 4 átomos de H y uno de C, generando 2 moléculas de agua H₂O por cada una de CO₂. En cambio, los hidrocarburos de cadena larga (líquidos) producen H₂O y CO₂ en partes iguales. Por cada 1 kgCO₂ que se genera por consumo de carbón, solo se generan 0,6 kgCO₂ con el gas natural.

El biogás. La forma más antigua para obtener gas es mediante la descomposición orgánica y aún hoy es una alternativa viable. La producción de biogás se realiza por descomposición anaeróbica (sin oxígeno) desde residuos biodegradables. Puede obtenerse de estiércol, restos de cosechas, en plantas de tratamiento depuradoras de aguas residuales o plantas de procesado de basuras. La "biodigestión" es desarrollada por microorganismos y puede ser incentivada mediante la

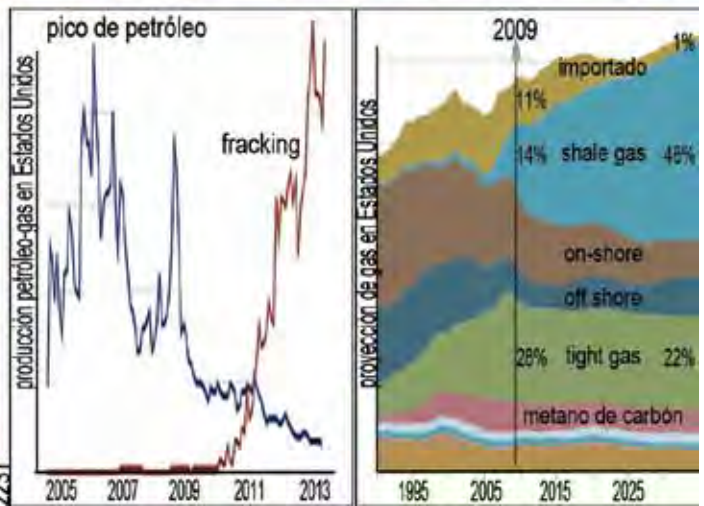
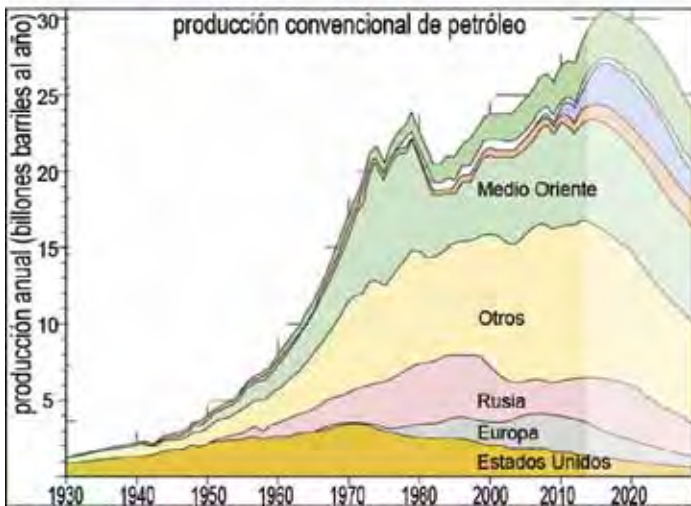
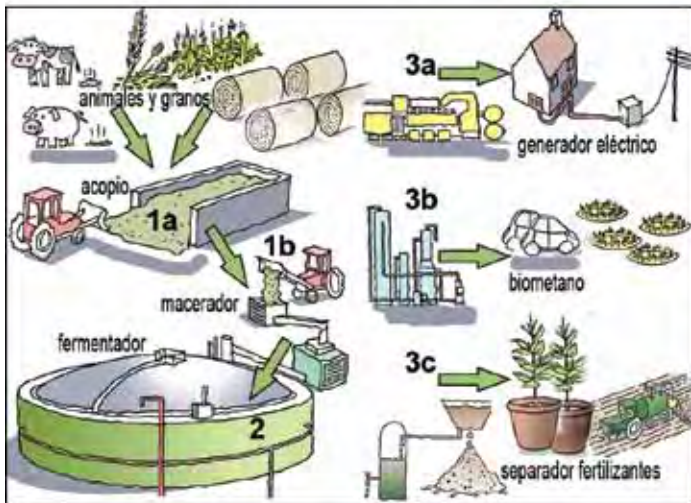
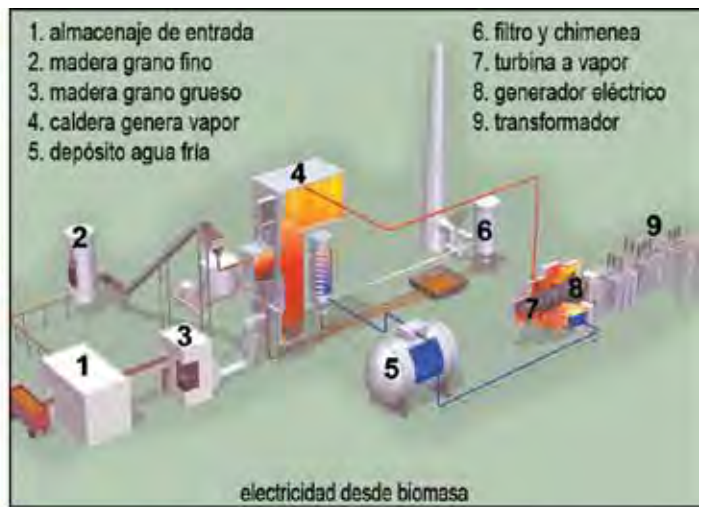
calefacción. El resultado es una mezcla de metano al 40-70 % y de CO₂, con trazas de otros gases (H, N, O y sulfuro de hidrógeno). Es el olor tradicional que se produce al revolver el fondo de zonas pantanosas y liberar las burbujas atrapadas.

Se puede utilizar para producir energía eléctrica mediante turbinas, para cocinar o calefacción. El efluente sólido resultante del proceso puede servir de abono para los suelos. Si bien el biogás es neutro desde el punto de vista de CO₂, la liberación es instantánea, pero la acumulación posterior es lenta, aumentando el CO₂ temporal en la atmósfera y favoreciendo el calentamiento global. Además, puede ser un incentivo para la tala y así alimentar a los digestores. Quienes lo objetan dicen que es una tecnología de la edad de piedra; en tanto otros lo proponen como energía para los países en desarrollo.

Desde hace mucho se fabrican biodigestores familiares de bajo costo y su uso está muy extendido. Son construidos a partir de tanques de plástico o mangas de polietileno tubular (usados como silo-bolsa

para granos en la agricultura). Se caracterizan por su bajo costo, fácil instalación y mantenimiento, así como por requerir sólo de materiales

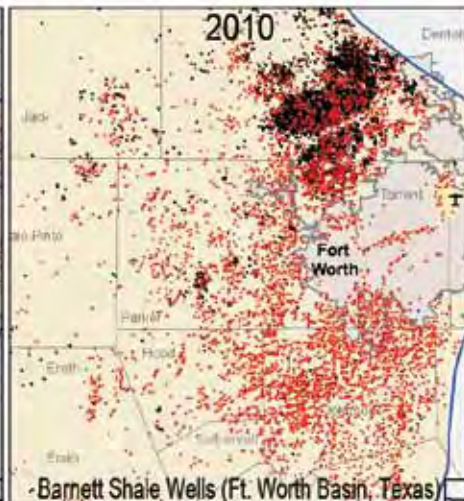
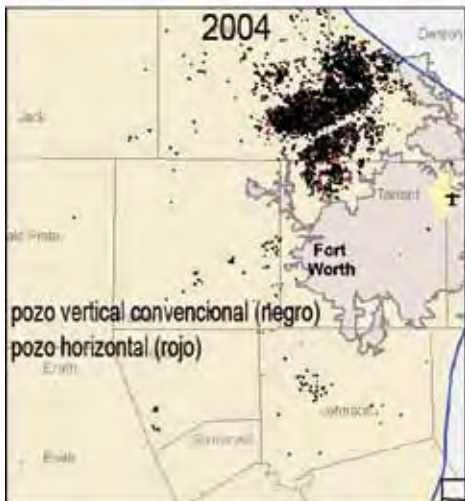
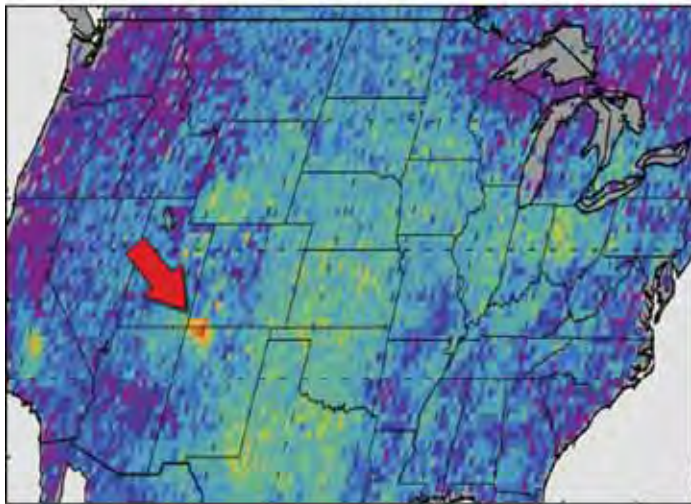
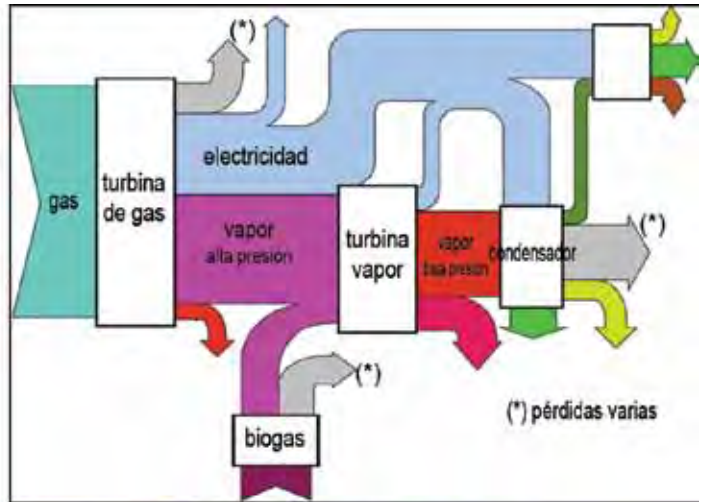
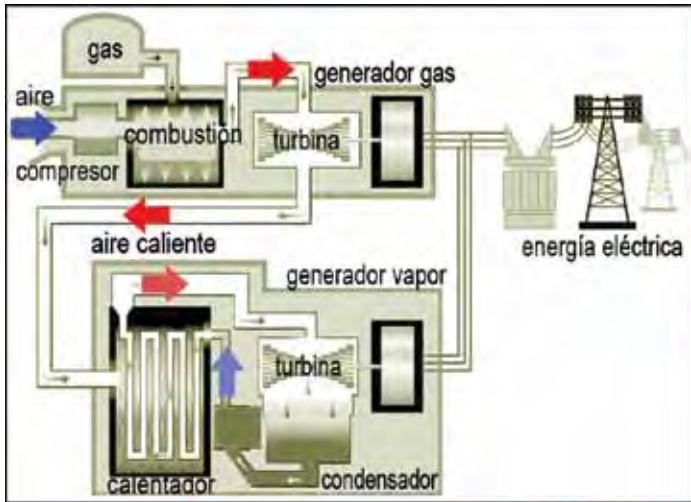
locales para su construcción. En la medida que la materia vegetal se pudre, el gas es extraído mediante un caño. En Bolivia se trabaja con



2231. El gas: desde la biomasa al gas natural. El uso de residuos biológicos (madera) puede ser de utilidad en la generación de calor y electricidad (arriba). El Programa "Leña en Blanco" del INTA asegura un manejo sustentable de los bosques nativos (izquierda). También puede usarse madera en forma de chips (astillas) para alimentar una caldera que genera electricidad (derecha). Otra aplicación de la biomasa (vegetales o desechos de animales) es la fermentación anaeróbica para producir gas metano (biodigestores). El secreto es mantener el material en un ambiente cerrado sin acceso de oxígeno exterior (centro). Se obtiene gas que puede ser usado para generar electricidad y los restos sólidos se puede usar como fertilizantes. El gas natural es un derivado de la producción minera (gas desde carbón) y petrolera. A nivel global es probable que el máximo de producción de carbón y petróleo se alcanzó hacia el 2010. Sin embargo, la producción de gas puede seguir aumentando (abajo). La técnica de fracking llenó el hueco de producción, de forma que permitió a Estados Unidos reducir la importación (derecha). A largo plazo, se espera que se llegue también a un "pico de consumo" debido a la generación de energía eléctrica mediante métodos renovables. El límite a la producción ocurrirá cuando el costo de explotación sea mayor al valor de mercado que se obtiene por el producto.

agricultores para aprovechar el estiércol en familias con algunas pocas vacas. Esto elimina el foco de infección (moscas), olores del estiércol y

reduce la inhalación de humo al cocinar en espacios cerrados con leña o bosta seca. La combustión del biogás no produce humos visibles y su



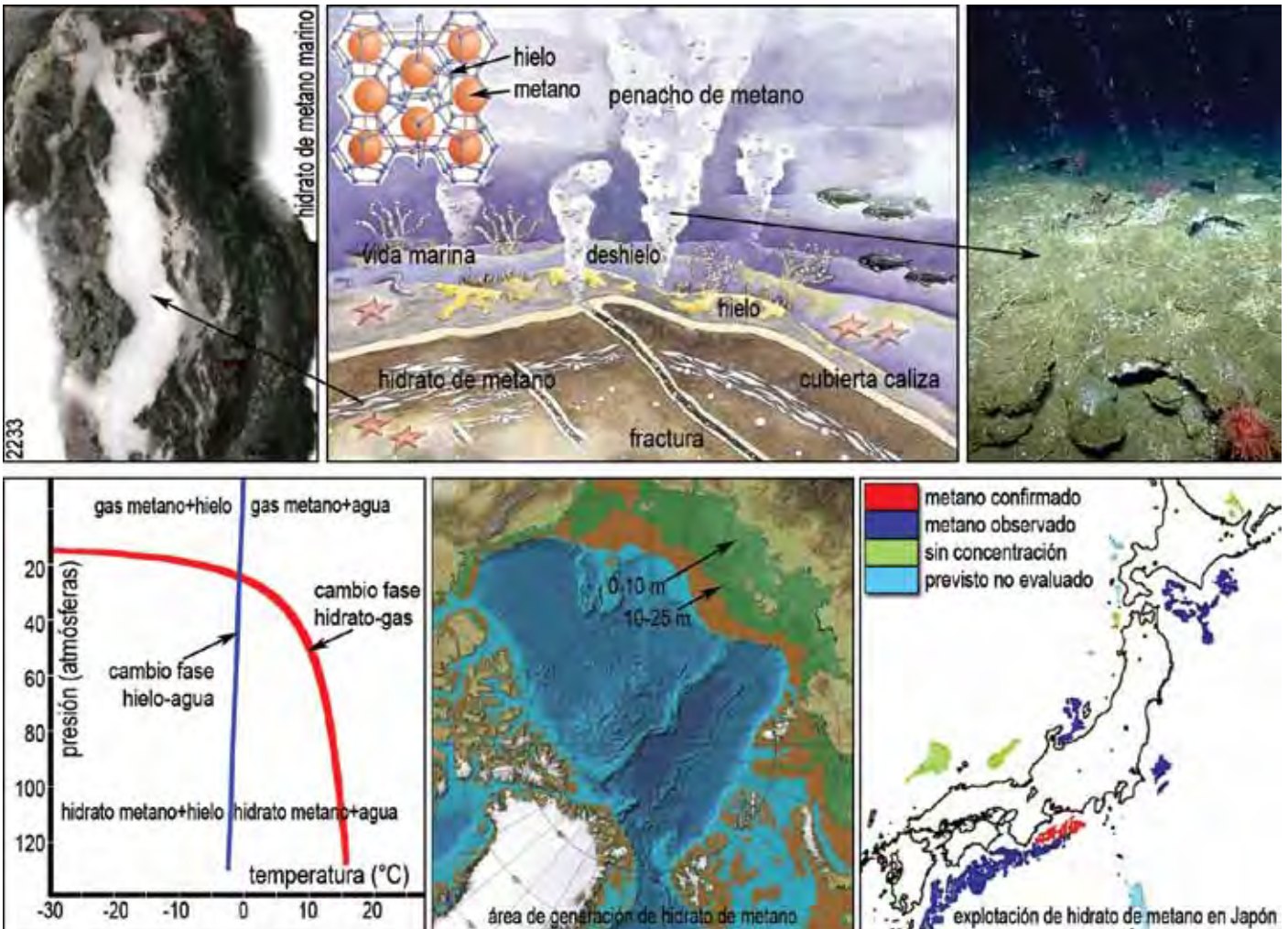
2232. El uso del gas y los problemas. Los generadores de ciclo combinado (arriba-izquierda) disponen de 2 turbinas, la primera quema gas y la segunda usa el aire caliente de la combustión. El diagrama (derecha) muestra el rendimiento en electricidad y pérdidas de un ciclo combinado. La generación eléctrica desde gas es la menos contaminante de los combustibles fósiles. Un problema es el gas perdido en la atmósfera. Un pequeño "punto caliente" en Estados Unidos indica la mayor concentración de metano en un área de 6.500 km² (centro-izquierda). El estudio toma el promedio 2003-2009 que es anterior al fracking. El culpable de estas emisiones de metano son las fugas de gas desde capas de carbón, porque el metano se encuentra en poros y grietas. En el 2012, el metano obtenido desde el carbón suministraba el 8% del gas natural en Estados Unidos. En la Argentina, la plataforma neuquina es muy importante en la producción de gas (p.e., yacimiento Loma de la Lata). El venteo y quema de gas en la boca del pozo se observa en la fotografía nocturna como una iluminación en el desierto que compete con la zona del Alto Valle (derecha). Las operaciones de fracking se observan en su máximo esplendor en Barnett Shale Wells-Texas (abajo). Entre el 2004 y 2010 se perforaron cerca de 10.000 pozos. En el 2014, la ciudad de Denton, cuna del fracking con 278 pozos en la ciudad, prohibió esta actividad mediante un referéndum.

carga en ceniza es mucho menor que el humo proveniente de la quema de madera.

El gas natural. La fuente más extensa de gas son los yacimientos de petróleo y carbón, que contienen gases ligeros disueltos y que fluyen juntos a la superficie. La composición depende del yacimiento, pero es metano al 90-95% y suele contener N, He y ácido sulfhídrico. De la mezcla de gases en pozos de petróleo deben separarse los que no tienen capacidad energética (N y CO₂) o los que tienen un alto punto de ebullición y se depositan en el fondo. Para licuar el gas natural se aplica presión y extracción de calor (bajando la temperatura), lo que permite el transporte en tanques contenedores. Se elimina el CO₂ porque se solidificaría interfiriendo con el proceso criogénico. El propano, butano e hidrocarburos pesados también se extraen porque pueden causar accidentes durante la combustión. El vapor de agua se elimina porque a temperaturas ambiente y presiones altas forma hidratos de metano que pueden obstruir los gasoductos. Los compuestos de azufre se reducen porque pueden producir corrosión, olores desagradables y gases causantes de lluvia ácida. Para uso doméstico se añaden trazas de mercaptanos, que dan el olor característico para detectar una fuga y evitar su ignición espontánea.

Un problema ambiental grave son los escapes de gas natural en los pozos de perforación. El accidente de *Elgin* (plataforma petrolera de Total en el Mar del Norte) en el 2012 supuso una emisión de metano equivalente a todas las emisiones industriales anuales de CO₂ de Estonia. Un extenso estudio previo al uso de fracking (12.000 mediciones entre 2007-2008) mostró que si bien la emisión de CO₂ por consumo de gas natural es la mitad del carbón, las emisiones de metano durante la producción son mucho mayores a las esperadas (entre 2 y 3 veces). En el 2014 se publicó un estudio sobre las pérdidas en las tuberías de transporte de gas en Estados Unidos. Mostraba que eran muy superiores al 1,5% estimado originalmente, aunque no entregó un valor definitivo por falencias en la tecnología de medición de fugas. En otro estudio se encontró que algunos pozos de petróleo abandonados estaban emitiendo metano. Solo en Estados Unidos hay cerca de 3 millones de pozos abandonados y el tiempo deteriora los cerramientos.

Ciclo combinado. En las centrales térmicas se puede lograr una eficiencia mayor con el ciclo combinado. En este caso primero se quema gas para calentar aire con lo que se mueve una turbina. Los vapores de la combustión son usados por separado para calentar agua y alimentar a una segunda turbina. De esta forma se logra mayor gene-



2233. El hidrato de metano. Cuando la molécula de metano CH₄ se congela en el océano o el suelo (permafrost) forma una masa denominada hidrato de metano. El calentamiento global produce el descongelamiento y la liberación espontánea de metano desde su encierro entre moléculas de agua (arriba). El hidrato de metano se encuentra estabilizado por la combinación de baja temperatura y alta presión (abajo-izquierda), pero si cambia una de las variables se descongela. Una zona de producción de hidrato de metano está en el Ártico, al norte de Siberia (centro), donde se extiende un mar de muy baja profundidad (hasta 25 m). En esta zona la materia orgánica se acumula a medio consumir y se congela. Para extraer el hidrato de metano y usarlo como gas natural se utiliza una técnica de descompresión para producir un cambio de fase (sólido a gas) y luego se bombea a la superficie. Esto ocurre en la explotación vecina a Japón (derecha).

ración eléctrica por unidad de combustible. Para reducir la emisión de CO₂ se pueden capturar los gases de salida en las plantas eléctricas y almacenarlo bajo tierra (ingeniería climática).

La planta FutureGen (Illinois) se proyectó para funcionar en el 2015 con un valor estimado de 1.650 Mus\$. El CO₂ secuestrado (90% del generado) se comprime y licua para transportarse por ducto a 50 km de distancia y bombearlo hasta una formación salina a 1.200 m de profundidad. Un grupo ambientalista local se opuso a la construcción de esta planta, ya que trabaja con una central eléctrica a carbón que quieren cerrar. La IEA (*International Energy Agency*) dice que este tipo de plantas deben multiplicarse por 100 hacia el 2030, pero los primeros grandes proyectos tienen resistencias.

El hidrato de metano. Este "gas" (en estado sólido) está formado de moléculas de metano rodeadas de varias moléculas de agua. Está congelado en el fondo del mar (por la combinación de presión y temperatura) y en el permafrost. El metano proviene de la descomposición de algas y otros organismos marinos y queda atrapado entre moléculas de agua al solidificarse. Mientras se encuentre con la temperatura y presión adecuada, está contenido y no corre riesgo, pero si alguna de ambas variables cruza el umbral se libera del encierro del

agua y se convierte en gas. La relación entre temperatura y gas metano está documentada en un evento rápido y dramático que ocurrió hace 12.900 años. La temperatura bajó -10 °C y el metano -200 ppb en 150 años. Este evento se conoce gracias a los hielos de Groenlandia y se correlaciona con las extinciones en masa en Norteamérica. El origen se atribuye a un cuerpo extraterrestre que chocó en Carolina (Estados Unidos).

El hidrato de metano podría ser una fuente de gas natural, pero es difícil extraerlo en forma segura. Se encuentra en un estado inestable y puede escaparse a la atmósfera. Según estimaciones generales hay reservas explotables de 675 Gt de carbón; 160 Gt de petróleo y 96 Gt de gas natural. Pero de hidratos de metano hay reservas de 1.500-3.000 Gt (aún no está evaluado en su totalidad). En Japón, luego del accidente nuclear de Fukushima, se cerraron las plantas nucleares y se inició el programa para explotar hidratos de metano que ya llevaba varios años de trabajo. La petrolera estatal de Japón (Jogmec) inició la exploración y esperaba comenzar la explotación para el año 2016, con una tecnología de descompresión sin peligros para el ambiente (según se comprometieron). La técnica requiere llegar a la capa de hidrato de metano y descomprimirla para que cambie de fase a gas. De esta forma se puede bombear hacia la superficie.

La esperanza en las reservas no-convencionales

La teoría del cenit del petróleo indicaba el máximo de producción para el año 2010. Desde el 2003 el valor del barril de petróleo subió de 40 a 100 dólares, lo que permitió que yacimientos muy costosos pasaran a ser redituables. Una de las técnicas que cambió la tendencia es el fracking, por la cual Estados Unidos dio vuelta su ecuación energética, dejando de ser importadores netos en el año 2015. Además, cambió en gran medida el carbón por gas natural en la generación de energía eléctrica. Redujo el costo a menos de la mitad y las emisiones de CO₂ (1,4 GtC en el 2012). Pero, el gas producido mediante fracking no solo reduce el uso de carbón (lo bueno), también demora la implementación de energías renovables (lo malo). Además, la técnica de fracturación hidráulica de las rocas tiene serios cuestionamientos ambientales.

Reservas no-convencionales son las que, por la dificultad de extracción, requieren técnicas especiales más caras y con un impacto ambiental mayor.

(1) *Heavy-oil* (asfalto) es un petróleo líquido de alta densidad y peso. Se opone al petróleo crudo *light* que es el petróleo liviano convencional y el más apreciado. El petróleo pesado ocurre porque el encierro no fue completo y las bacterias consumieron las cadenas cortas de hidrocarburos, dejando intactas las largas y pesadas. Una de las formas de extracción es inyectando vapor o polímeros en pozos verticales (en un pozo se inyecta y en otro se extrae). Son las mayores reservas de Venezuela, pero la tasa de recuperación es baja ya que depende de los compuestos.

(2) *Oil-sands* (arenas bituminosas) son "arenas" (piedra arenisca, compuesta de arcilla y agua compactada) impregnadas con betún (alquitrán) muy denso y viscoso. Esta característica le impide fluir por

el pozo. El betún fue usado por los neandertals hace 40.000 años y por muchas civilizaciones posteriores. Un emblema de este tipo de petróleo está en Athabasca (Canadá), donde se explota desde hace 100 años. Con el precio del barril de crudo a 100 us\$, las costosas técnicas se hicieron rentables. Por su estructura geológica, se lo explota a cielo abierto hasta 75 m de profundidad y para más de 120 m, se hace mediante extracción con vapor o solventes para reducir la viscosidad. El volumen de producción y reservas posiciona a Canadá en el tercer lugar en reservas luego de Venezuela y Arabia Saudita. El área potencial de producción es de 3.400 km². El impacto ambiental es imponente. También está en riesgo la relación entre la población de caribúes y de lobos. La duda es si los caribúes están declinando por el stress de la explotación humana de los bosques o por un exceso de la población de lobos.

(3) *Shale-gas/Shale-oil*, son un tipo de rocas arcillosas de muy baja permeabilidad que se impregnan de hidrocarburos. El petróleo y gas no puede fluir y se utiliza la fracturación hidráulica para romper la roca madre que lo contiene. En Estados Unidos proporcionaba el 20% del gas natural en el 2010 y es el tipo de yacimiento que se explota en Vaca Muerta (Neuquén). En la columna vertical de explotación en la parte superior se acumula el gas y petróleo convencional que pudo migrar desde abajo. En el centro se acumula el *Tight-oil* (petróleo de esquisto) que se da en yacimientos de baja porosidad y permeabilidad, sobre rocas de pizarra (lajas u hojas planas) o arenisca apretada. Debajo se encuentra el Shale, que es la roca original desde la cual migró el gas y petróleo superior y que solo contiene aquello que no pudo liberarse del encierro.

Tecnología del fracking. Este proceso permite liberar las burbujas de hidrocarburos que están atrapadas dentro de la roca se-

dimentaria madre (shale) y que no pueden fluir por sí mismas. Se inició a mediados del siglo pasado y en el 2000 solo el 2% del gas en Estados Unidos era producido por esta tecnología. Para el 2014 se llegó al 40%.

Fue posible cuando se conjugaron 2 técnicas: la perforación horizontal (para cubrir las capas inclinadas u horizontales de la plataforma) y la fractura hidráulica (para la rotura de la roca). El proceso incluye los siguientes pasos: (1) Una plataforma de perforación realiza un pozo vertical (en general de miles de metros). Cuando están dentro de la roca objetivo se gira el taladro y se mueve horizontalmente (en forma de J) siguiendo la pendiente de la roca. (2) Mediante pequeñas cargas explosivas se perfora el extremo del pozo horizontal. (3) Con el auxilio de grandes compresores se impulsan millones de litros de fluido de fracturación (agua, arena y productos químicos) que se bombean a presiones muy altas para fracturar la pizarra. La presión llega a 7.500 psi (el neumático de un auto es 30 psi, libras por pulgada cuadrada). Se fracturan centenas de metros desde el punto de inyección en distintas direcciones. (4) Luego de la fractura se colocan bombas que llevan a la superficie los gases y líquidos del interior. Junto con el gas metano que se libera de las rocas se recupera el fluido de fractura y agua adicional que se encuentra naturalmente en la roca. El procedimiento se

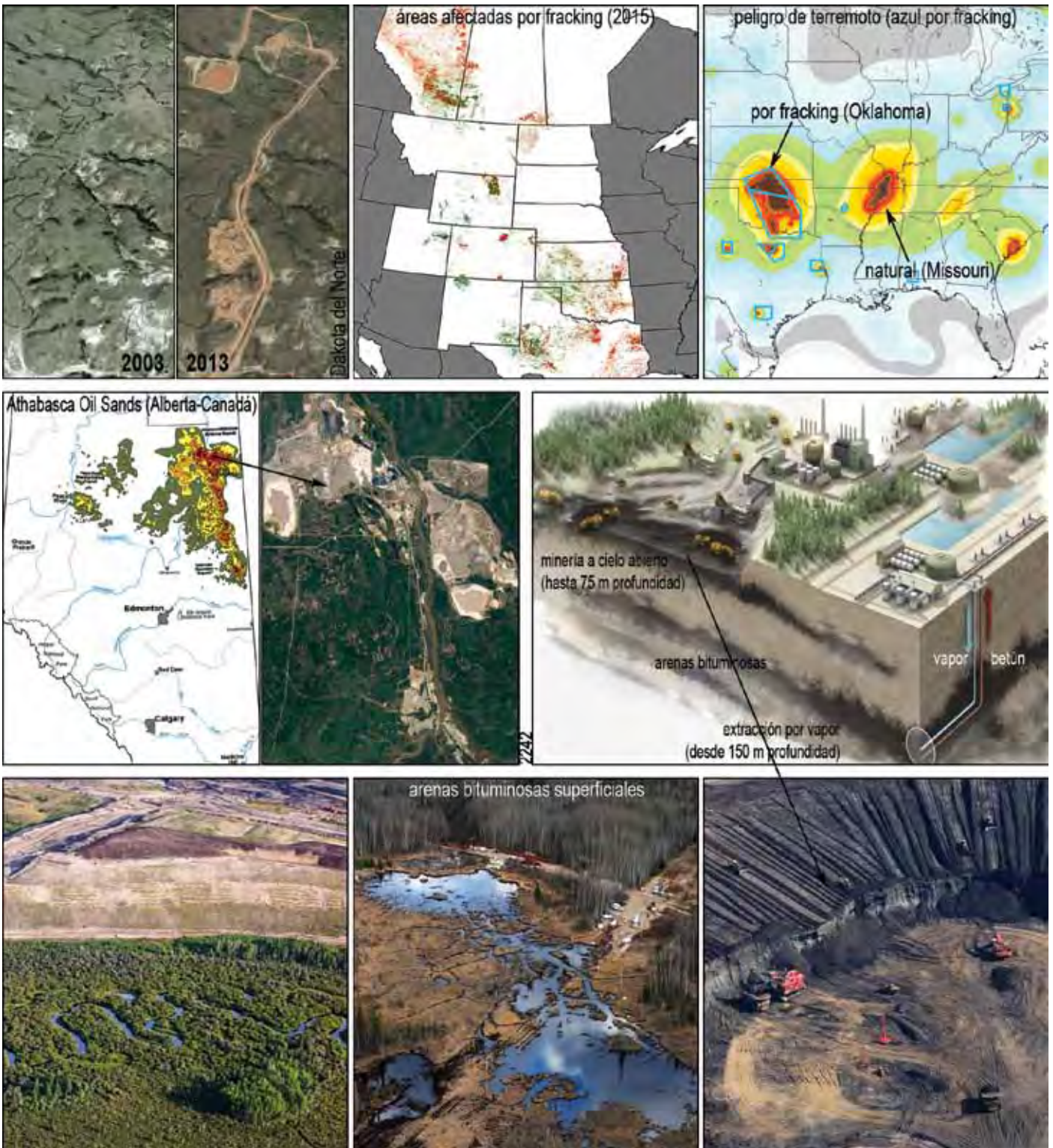
repite en todas direcciones y profundidades, así como en pozos cercanos para cubrir toda la zona de explotación.

Los cuestionamientos son varios. (1) La explotación afecta a todo el paisaje en la superficie, porque es intensiva, con muchos pozos cercanos y una intervención frecuente. La zona de explotación se convierte en una zona industrial. (2) Se identifican 3 problemas con el agua: una huella hídrica elevada (mucho consumo de agua); la posible contaminación de las aguas subterráneas con metano y la contaminación de aguas superficiales con derivados de aguas residuales. (3) Algunos componentes usados para la fracturación de la roca son contaminantes y entre los residuos extraídos se encuentran materiales radioactivos que se adsorben en los sedimentos de los arroyos o el suelo. Los residuos no reciben un tratamiento riguroso. (4) La ruptura de la roca desestabiliza el subsuelo y puede generar movimientos sísmicos. (5) El fracking es rentable gracias a las subvenciones del gobierno lo cual compite con el desarrollo de las energías renovables. Quedará por ver si el fracking sigue siendo rentable cuando se lo haga en forma completamente segura.

(1) Contaminación del agua. Un primer cuestionamiento es la cantidad de agua requerida que es mucho mayor a la explotación tradi-



2241. Fracturación hidráulica de las rocas. Consiste en 2 etapas: la perforación y direccionamiento horizontal del pozo (arriba-izquierda) y la ruptura de la roca mediante presión hidráulica (agua, arena y compuestos químicos). Un peligro es la filtración de gases desde la perforación hacia los acuíferos subterráneos (derecha). La roca madre está empapada de gas o petróleo pero reclusos en "bolsas" microscópicas (abajo), de forma que la fractura de la roca libera los hidrocarburos retenidos y se pueden bombear a la superficie.



2242. El impacto ambiental. Un primer impacto sobre el ambiente son los caminos de acceso. Como ejemplo se muestra los trabajos en Dakota del Norte (arriba-izquierda). En Estados Unidos desde 1900 se perforaron 2 millones de pozos; desde el 2000 los pozos nuevos son solo de fracking (centro). Estos afectan a 30.000 km² de terreno que se pierden como tierras de cultivos, humedales y pastizales. A la pérdida de suelo se suma el peligro de terremotos inducidos. Por ejemplo, en Oklahoma se calcularon peligros similares entre los terremotos inducidos por fracking con los naturales de Missouri (derecha). El problema es el agua salada producto de la extracción de petróleo y que se reinyecta. Se estima que aumenta la presión de los poros, lo que provoca fallos en la roca basal y deslizamientos. Otro problema es el impacto en la superficie de la explotación minera de arenas bituminosas (centro-izquierda) en Alberta-Canadá. No es una operación de fracturación hidráulica, pero se trata de una explotación no convencional asociada (derecha). Los depósitos de betún (crudo pesado) son en arenas impregnadas de petróleo muy denso. El impacto ambiental es extremo (abajo). La minería a cielo abierto como en Athabasca, afecta los bosques y los pantanos en la capa superficial de suelo. Por cada metro cúbico de petróleo se usan 4 de agua, pero además se producen escapes de agua contaminada. Las emisiones de CO₂ debido a la producción son del 5-15% mayor al petróleo convencional. Se ha medido un importante impacto sobre animales (caribú y aves) y sobre las poblaciones indígenas que aprovechan los ríos y lagos.

cional. En Estados Unidos el fracking se usa para extraer gas que reemplaza al carbón en la generación eléctrica, pero la minería de carbón consume el doble de agua por unidad de energía. El gas de fracking requiere 100 veces menos agua que los biocombustibles para la misma energía. Las energías renovables son excelentes en áreas desérticas donde no hay agua, pero el gas barato pone un límite a la implementación debido a los altos costos iniciales. El consumo de agua es una fuente de conflictos cuando compite con granjeros en zonas de baja disponibilidad. Se puede usar agua salobre o reciclar el agua residual. Un problema mayor al consumo del agua es la contaminación de las reservas de agua subterráneas y los efluentes de la explotación que deben liberarse en los ríos (procesado de aguas residuales).

Un posible problema del fracking es la filtración de metano en pozos de agua potable. El metano existe de forma natural en las aguas subterráneas (se encontró metano en 51 de 60 pozos de agua estudiados). Pero, los científicos del estado de New York, comprobaron que las concentraciones de metano en pozos cercanos a fracking eran 17 veces más altas que en los pozos de las zonas inactivas. Para saber de dónde provenía el metano se analizaron los isótopos de carbono que contenía el gas y se concluyó que eran de capas profundas (más antiguas que las superficiales). Se propusieron 4 formas por las cuales el metano llegó al agua subterránea. (1) El proceso de extracción podría abrir fisuras en la roca hasta la superficie. Esto se considera poco probable. (2) La tubería de acero que recubre el pozo de gas se debilitaría. En ambos escenarios el agua salobre de la pizarra y los líquidos del fracking podrían migrar hacia arriba. Pero el análisis del agua no encontró ninguna evidencia de esto. (3) Los pozos de gas recientes interceptarían a los viejos, permitiendo infiltrarse al metano. Pero, en muchos casos el metano se presentó en los pozos de agua mucho antes de que el fracking se haya generalizado. (4) Lo más probable, es que el cemento entre el revestimiento del pozo y la roca circundante no esté convenientemente sellado. Allí, se podría crear una vía de paso que permita al metano de una capa intermedia acceder al agua superficial. Hay casos documentados de este tipo de filtraciones; como una grave explosión en el sótano de una casa por acumulación de gas filtrado.

Los pozos convencionales de gas y petróleo tienen problemas similares, pero las altas presiones del fracking pueden generar grietas en el cemento. La liberación de metano puede causar la acumulación de ozono a nivel local, lo que lleva a los dolores de cabeza e inflamación a quienes viven cerca. Un problema paralelo es que el camino seguido por el metano podría ser usado por el arsénico, sales o minerales pesados. En el 2013 en Alemania, la asociación de cerveceros se opuso al fracking porque argumentaron que el agua para la producción debe ser pura. Desde 1516 está establecido que solo el agua pura, cebada y lúpulo pueden ser constitutivos de la cerveza. En el 2014 Alemania decretó una moratoria que impide el fracking hasta el 2020.

(2) Extracción de contaminantes. Las mezclas que se inyectan como fluido a presión son específicas, pero el agua es más del 90%. Cerca del 9,5% son "agentes de sostén" (arena o perlas de vidrio) para abrir las fisuras y el 0,5% son aditivos (compuestos químicos) que impiden el crecimiento de bacterias, la corrosión lenta y actúan como lubricantes para facilitar a los agentes de sostén entrar en las grietas. A medida que el gas sale del pozo una gran cantidad de este líquido vuelve como residuo. Al principio, muchas empresas no revelaron las recetas químicas de los líquidos amparados en secretos comerciales. Pero en el 2011 se supo que en el período 2005-2009, 14 grandes empresas

usaron 750 productos químicos diferentes y 48 estaban en listas de contaminantes peligrosos y posibles carcinógenos. Además, el fluido de retorno contiene agua de las rocas con sal, materiales radiactivos naturales, mercurio, arsénico y otros metales pesados. Las aguas residuales se tratan en diferentes maneras, algunas veces se almacenan en pozos forrados hasta que se transporta en camiones fuera del lugar. Cuando estos pozos están abiertos al aire, pueden liberar vapores o tener desbordamiento, con consecuencias peligrosas. En un caso donde el agua se liberó sobre un bosque, los árboles perdieron sus hojas antes de tiempo y muchos murieron en dos años. Otro problema son los restos de roca producidos por la perforación de centenares o miles de metros de profundidad (similar a la viruta que genera un carpintero al hacer huecos en la madera) y el iodo que se usa para enfriar la broca de perforación. Estos restos se depositan a un costado del pozo. La disposición de estos residuos cargados de contaminantes es un problema que se añade al agua residual. Además, el bromuro cuando se mezcla con cloro genera halometano, un producto tóxico que se podría formar cuando se tratan las aguas subterráneas con cloro para potabilizarlas.

Una técnica reciente consiste en procesar estos residuos de roca mediante microorganismos que se alimentan de petróleo y algunos contaminantes químicos. Esta bioremediación consiste en generar un ambiente propicio para que proliferen los organismos que degradan el petróleo. Pero entre los residuos hay materiales radiactivos, metales pesados y productos químicos agresivos. Enviar estos residuos a un vertedero no significa limpiar los tóxicos. En el 2013 en Pennsylvania se detectaron residuos radiactivos en aguas que fueron "tratadas" obtenidas en perforaciones mediante fracking. Se encontraron niveles de radio 200 veces mayor a lo normal en el área y cloruro y bromuro entre 2 y 10 veces superior. La contaminación podría llevar los niveles a valores similares a los sitios de desechos radiactivos. Estos contaminantes provienen de las aguas subterráneas que llegan a la superficie junto con el líquido de fracking. El radio (1.600 años de vida media) está contenido en la roca y es liberado debido a la fracturación. Las plantas de tratamiento de los líquidos no están preparadas para residuos nucleares. En algunos lugares estas aguas son vueltas a bombear al interior.

(3) Terremotos inducidos. Las operaciones de fracking se relacionaron con pequeños terremotos. En un principio parecían poco frecuentes, que ocurrían en zonas de actividad sísmica y que podrían anticiparse con el monitoreo continuo. Con el transcurso del tiempo comenzaron a reportarse diferentes terremotos asociados a la disposición de las aguas residuales en los pozos ya usados. El bombeo de agua presuriza el pozo y modifica el estado residual del lugar, lo que puede producir un sismo.

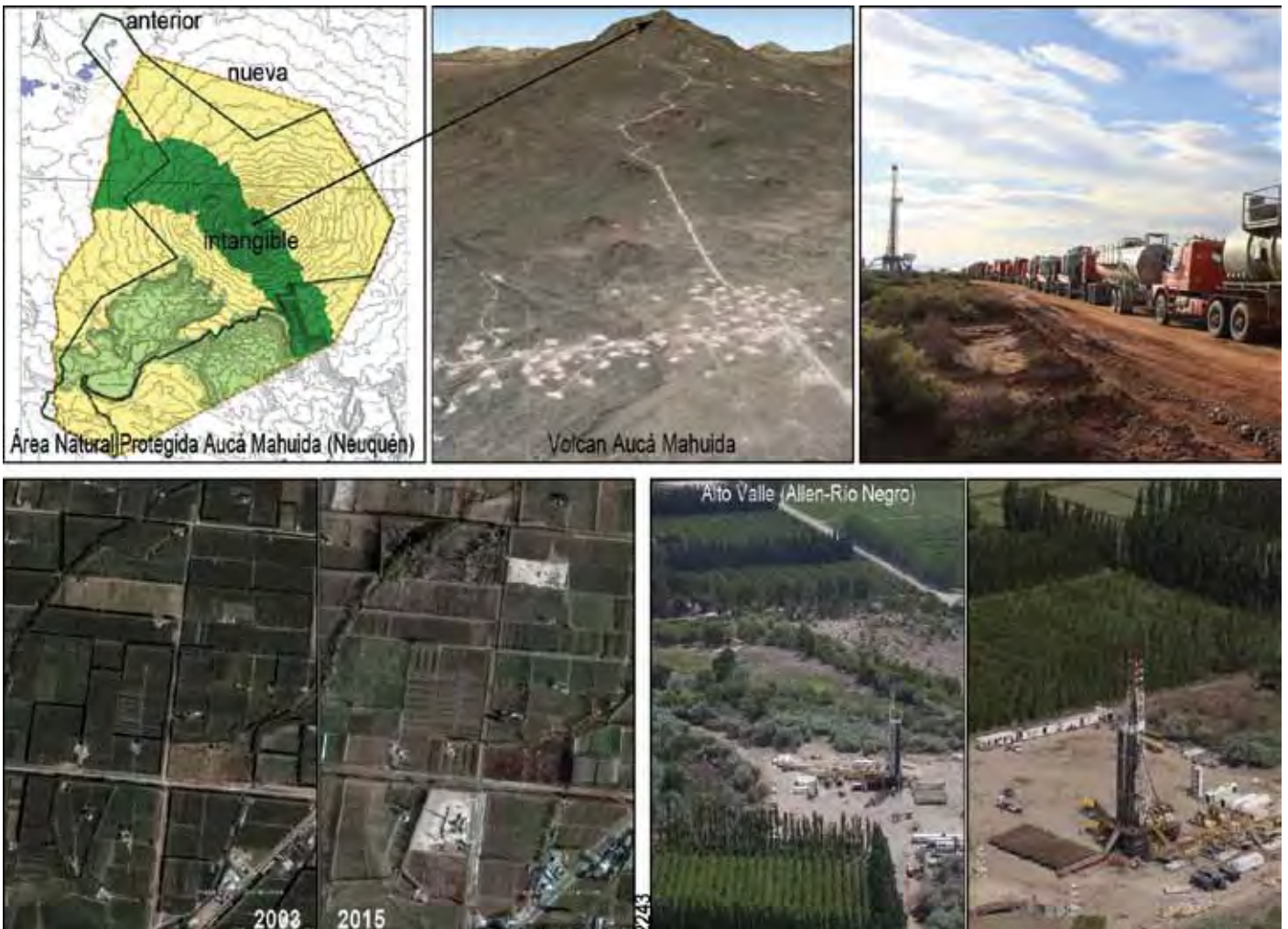
Un estudio del USGS (*US Geological Service*) documenta un aumento de terremotos que coincide con el inicio del fracking en California. Antes, en 1970-2000 se midieron 20 sismos por año mayores a magnitud 3,0. En 2001-2008 había 29 por año; 50 en el 2009, 87 en 2010 y 134 en 2011. En tanto en la región central de Estados Unidos registraron 21 sismos en el período 1967-2000 y cerca de 300 en 2010-2012. Los terremotos no sucedían cerca de perforaciones activas sino que parecían estar agrupados en torno a los pozos donde se inyectaban las aguas residuales. En el 2014 se probó fehacientemente que la operación de fracking en los Apalaches generó 5 pequeños temblores conectados en Youngstown (en la Formación Utica). Un sismo inducido de magnitud 5,7 en el 2011 en Oklahoma tuvo epicentro a solo 200 m

de un pozo de inyección de agua. En Colorado, tuvieron un terremoto importante en los 30 años previos al 2000 y en la década posterior (que coincide con el fracking) llegaron a 16 y todos a menos de 5 km de las zonas de explotación. En paralelo, se reportaron terremotos ligados a la explotación geotérmica ("minería del calor") en California. La central eléctrica inyecta agua a presión y extrae agua caliente para mover una turbina. La causa sísmica sería la inyección de agua a presión.

Para el año 2015 los modelos sismológicos confirmaban la relación entre las operaciones de fracking por cambios en la presión en el subsuelo y el aumento de terremotos. Tal es así que un nuevo mapa de probabilidad de terremoto iguala las áreas naturales con la que se encuentran en explotación petrolera. Los mapas de terremotos naturales tienen décadas de datos, mientras que la causa ligada a la inserción de agua lleva pocos años de estudio. ¿Cuáles serán las consecuencias sobre los seguros o sobre la ingeniería de construcción de edificios y puentes?

Argentina: Formación Vaca Muerta. El pico de extracción convencional de petróleo ocurrió en 1998 y desde allí la producción decreció. Las esperanzas se pusieron entonces en la técnica de fracturación

hidráulica para la cuenca de Neuquén (Formación Vaca Muerta). La cuenca de Vaca Muerta tiene unos 30.000 km² y se encuentra a 3.000 m de profundidad. Contiene esquisto bituminoso y gas de lullitas. Como en otros casos el sector industrial y gubernamental son aliados en presentar el fracking como solución a la crisis energética y tranquilizar a la población sobre la ausencia de problemas. Las primeras perforaciones de fracking en el 2013 dieron resultados magros, se estimó que se requerían inversiones superiores a las necesarias en Estados Unidos. Según Morgan Stanley Bank (año 2014) la operación es rentable si el valor supera los 83 us\$/barril (cerca de 70 en Estados Unidos). En contraste, la explotación convencional en Arabia Saudita es de 10-20 us\$/barril. Los defensores dicen que no se puede definir una inversión con el valor actual del petróleo, sino con el futuro, por lo que la rentabilidad estaría asegurada. Además, las empresas que fabrican la maquinaria podrían reducir los costos para mantener la actividad. En el 2014 se tenían 100 pozos activos en Vaca Muerta y se ampliaron en el período 2014-2015 en 170 pozos, con una inversión de 10 Mus\$ por pozo. China tiene el doble de reservas de esquisto que Estados Unidos, pero los yacimientos son más profundos (difíciles de alcanzar); están en zonas áridas (al oeste del país donde no hay acceso a agua para la fractura-



2243. Impacto ambiental en Vaca Muerta. El Área Natural Protegida del volcán Aucá Mahuida es un área de 77.020 ha constituida en 1976. En su interior existen 11 concesiones petroleras y se agregan las operaciones de fracking (arriba). Hasta el 2013 se abrieron 800 km de picadas para transporte que también usan los cazadores furtivos. Había 30 canteras para extracción de áridos y 70 pozos de petróleo. En tanto, YPF solicitó permiso para una localización de más de 4 ha en la futura zona intangible. Además, las operaciones de fracking ingresaron en la zona de explotación frutícola del Alto Valle en el 2014 (abajo). Ofrecían alquileres que eran imposibles de rechazar por los productores frutihortícolas en crisis. En la localidad de Allen hay 300 productores y 500 hectáreas productivas. En Europa, el protocolo de calidad exige que las chacras estén a más de 500 m de una autopista y la presencia de un pozo petrolero cerca de un árbol es inimaginable para estos mercados.

ción) y las formaciones tienen más arcilla, por lo que se deforma pero no se fractura, lo que dificulta la fracturación hidráulica. Esto llevó a reducir los planes ambiciosos iniciales.

De acuerdo con el IAPG (Instituto Argentino del Petróleo y del Gas), se necesitan entre 5.000 y 30.000 m³ de agua por pozo durante el período de su explotación. En Neuquén, en cinco años de explotación, se calcula que la sustracción de agua del río Colorado será del 0,8%; en el río Limay del 0,1%, y en el río Neuquén del 0,7%. Los cálculos se hicieron sobre el caudal mínimo de los ríos y sobre un promedio de 20.000 m³ por pozo. Lo que parecería ser muy poco como para preocuparse. YPF indica que la profundidad del yacimiento en Vaca Muerta está a 2.900 m y que esto reduciría las posibilidades de contaminación de las aguas subterráneas. Sin embargo, es sabido que las filtraciones pueden darse en el tramo vertical de la tubería y cerca de la superficie.

Las organizaciones ambientalistas y sociales identifican al fracking como una práctica potencialmente perjudicial para el ambiente y la población. Un problema es el impacto en las áreas protegidas. La región de Auca Mahuida (Neuquén) es un Área Natural Protegida de 77.020 ha constituida en 1976. Sin embargo existen 11 concesiones para explotar petróleo y recientemente se suma la técnica de fracking. Hasta el 2013 se abrieron 800 km de picadas para transporte que usan

los cazadores furtivos. Habían 30 canteras para extracción de áridos y 70 pozos de petróleo. En tanto, YPF solicitó permiso para una localización de más de 4 ha en la futura zona intangible. Se observa una falta de transparencia de información y por eso se sospecha y genera alarma. Una solución es la divulgación certera y la aplicación de normas severas que incluyan: minimizar la huella ambiental local; control de la integridad de las carcasas de acero y cemento; eliminación de productos químicos tóxicos del fluido y tierra; y la recolección de datos geológicos sísmicos.

Francia prohibió la tecnología de fracking. Alemania dictó una moratoria de 8 años desde el 2014 hasta lograr más información. En Holanda el fracking se usa para extraer gas y existen muchas protestas. Una diferencia con la Argentina es que las zonas europeas son altamente pobladas. Los países europeos dependen del gas de Rusia y el fracking podría reducir esta dependencia. Es así que se llegó a decir que Greenpeace (que se opone al fracking) era financiado por Rusia (que se beneficia de la exportación de gas). Alemania muestra una importante conciencia ambiental, pero está en un problema: debido al accidente de Fukushima decidió eliminar todas las centrales nucleares antes del 2022. Esto, sumado a la moratoria del fracking, obliga a producir energía eléctrica desde carbón. Los programas de generación solar y eólica son ambiciosos, pero insuficientes durante la transición.

Los combustibles de origen vegetal

La producción. El biocombustible es una mezcla de hidrocarburos (entre fósiles y producidos con biomasa) que se usa en motores de combustión interna. El proceso de producción utiliza como materia prima el maíz o mandioca (ricas en carbohidratos); soja o girasol (oleaginosas) y especies forestales (eucalipto o pino). Los derivados son el bioetanol y biodiesel, que se mezclan con otros combustibles. El bioetanol se produce por fermentación alcohólica de azúcares. Los principales productores son Estados Unidos (desde el maíz) y Brasil (desde la caña de azúcar). El biodiesel, se fabrica a partir de aceites vegetales (nuevos o usados) y el principal productor es Alemania. En el 2014, en Estados Unidos la producción era de casi un millón de barriles al día, lo que equivale 130 Mt de maíz (un tercio de la cosecha).

Los pasos de producción son: (1) Molienda: el maíz pasa por un molino y se convierte en harina de maíz. (2) Licuefacción: la harina se mezcla con agua, se agrega la enzima alfa amilasa y se eleva la temperatura para licuar el almidón. (3) Sacarificación: se convierte el almidón en dextrosa, un azúcar simple. (4) Fermentación: a la mezcla le lleva 2 días fermentar para producir alcohol. (5) Destilación: la mezcla fermentada tiene 10% de alcohol y se destila a 190 °C para llegar al 95%. El residuo (*stillage*) se separa para procesarlo como derivado. (6) Deshidratación: mediante tamices moleculares se separa el agua del alcohol. Se obtiene etanol anhidro de 200 grados. (7) Mezclado: se combina con gasolina para obtener E10 (10% etanol) y E85 (85% etanol). (8) Derivados: el *stillage* se procesa como alimento para animales. La ley 26.093 (Argentina 2006) obliga al uso de 5% de bioetanol en naftas y 5% de biodiesel en el gasoil. A inicios del 2015 se cambió a 10% de bioetanol en las naftas.

Los fabricantes mencionan las bondades del biodiesel. Hacen hincapié en que es un combustible "neutro" en emisiones CO₂; dicen que disminuye las emisiones de hidrocarburos volátiles (en motores de gasolina) y otras partículas (en motores diésel). Por su mayor índice de octanos y lubricación reduce el desgaste en la bomba de inyección y en las toberas. Es usado como una alternativa al aceite para motores de dos tiempos o como aditivo para motores a gasolina para la limpieza interna. Señalan que no hay una competencia con los alimentos ya que del maíz usado para hacer bioetanol solo se usa el almidón y el resto, las proteínas que ocupan más del 50%, vuelven como alimento y gluten para ganado. La empresa Bio4 (productor de bioetanol en Río Cuarto, Córdoba) dice que sus estudios dan un balance energético superior a la unidad (lo cual confirma el valor bajo de TRE). Además, mencionan que los biocombustibles posibilitan mantener el precio de la producción agraria y sostener la actividad de los vaivenes de la cotización (sustentabilidad económica).

Las objeciones. Los biocombustibles son acusados de ser un agro-combustible, ya que la denominación *bio* le otorga una imagen positiva que no corresponde. No se trata de un combustible ecológico, tiene una competencia con los alimentos y una tasa de retorno muy baja.

(1) El biocombustible no es una energía renovable (es finita) y contaminante como el petróleo. Estos puntos son fuente de controversias, porque la emisión de CO₂ durante la combustión se compensaría con la absorción mediante fotosíntesis cuando se produce la planta. El problema es que la producción agrícola usa combustibles fósiles

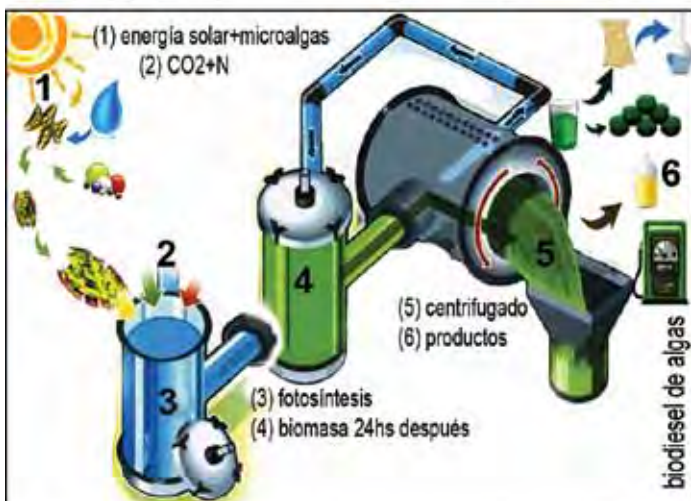
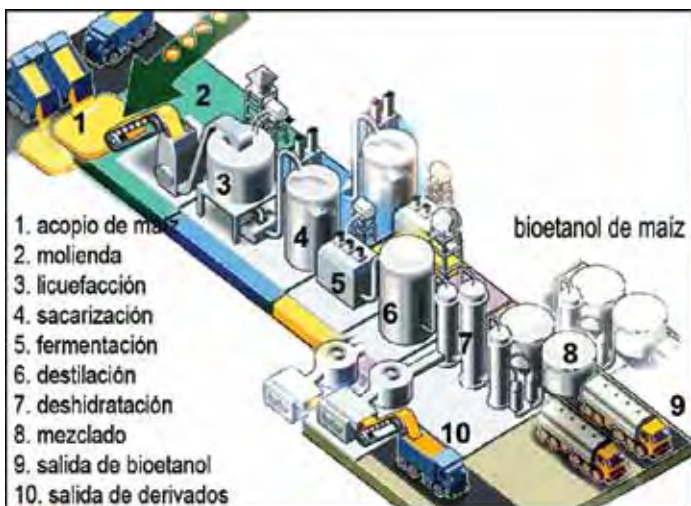
y fertilizantes, que no se compensan. Los biocombustibles producen menos emisiones de azufre, pero el uso de fertilizantes produce más emisiones de nitrógeno. Por ejemplo, la emisión de óxido nítrico N_2O desde los fertilizantes es 310 veces más potente que el CO_2 como gas GEI. Se estimó que el 27% de los GEI que emite la Argentina corresponden al N_2O desde fertilizantes. Por otro lado, si se usan desechos agrícolas para producir biocombustibles se reduce la cobertura del terreno y la calidad del suelo. Otro punto es que el etanol E85 (bioetanol al 85%) produce mayor cantidad de ozono a baja temperatura que los combustibles fósiles.

La Universidad de Leicester encontró que la producción de aceite de palma para biodiesel en las turberas del sudeste de Asia emite 29 tC por hectárea al año. Estas turberas son selvas que se limpian para el cultivo de palma y son responsables del 87% de la deforestación de Malasia. En Sumatra y Borneo, los bosques se convierten para la explotación de palmas y se denunció el desalojo de indígenas de sus tierras, lo cual agrega un problema social al ambiental. La Unión Europea obliga desde el 2010 a no comprar aceite de palma para biodiesel desde terrenos desmontados nuevos. Sin embargo, solo el 5% del total adquirido es para biodiesel y 95% para alimento (que no está regulado). La palma africana produce 5.500 litros/ha de aceite al año siendo

la planta más productiva en el mundo. En comparación la soja produce 420 l/ha, el maíz 990 l/ha y la palta 2.500 l/ha. Se creó la organización RESPO para la certificación de aceite de palma sustentable que incluye criterios ambientales y sociales y en Europa cada vez más se pide este sello de calidad para las importaciones.

(2) Existe una competencia entre alimentos y biocombustibles. En la Argentina muchas tierras se derivaron para la agricultura (boom de la soja) y se redujo el stock ganadero. El agro es la principal causa de deforestación o desecación de terrenos vírgenes o selváticos. La tasa de deforestación hacia el 2004 generaba más GEI que todo el transporte en la Argentina. Otro aspecto es la huella hídrica de la producción de biodiesel. Se estima en 20 litros de agua por litro de biocombustible. Dependiendo del contexto, la energía en agua podría ser superior al combustible. ¿Es ético un incremento en el precio de los alimentos para producir biocombustibles?

(3) La tasa de retorno energética TRE se evalúa ligeramente superior a la unidad, la más pobre de todo el abanico de alternativas. El bioetanol de maíz genera un 25% más de energía que la usada para la producción y el biodiesel de soja aporta un 95% más. El rendimiento promedio para biodiesel de soja llega a 900 litros por hectárea cose-



2251. Producción de biocombustibles. La producción de bioetanol de maíz lleva varios pasos y días de procesado desde que ingresa el grano hasta el mezclado con el combustible para obtener el compuesto final (arriba-izquierda). Como ejemplo se muestra una planta de biocombustibles en Río Cuarto (Córdoba). Otra alternativa para no usar productos agrícolas es la producción de biodiesel desde algas. Es un proceso industrial en fase experimental que aprovecha la fotosíntesis de algas para generar biomasa que será usada luego para producir combustibles (abajo).

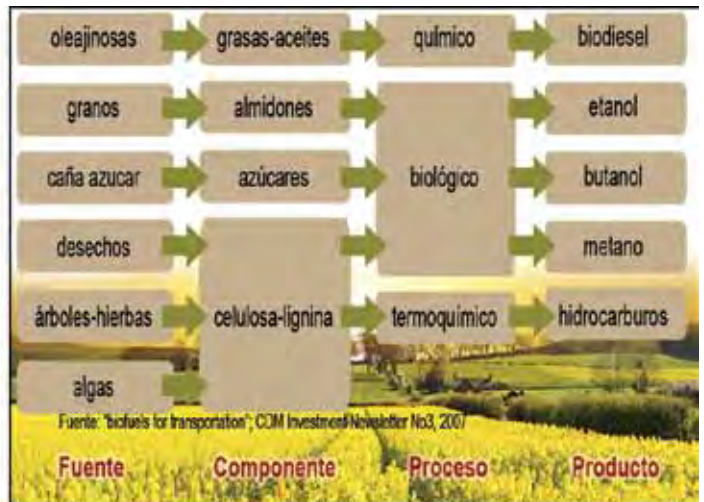
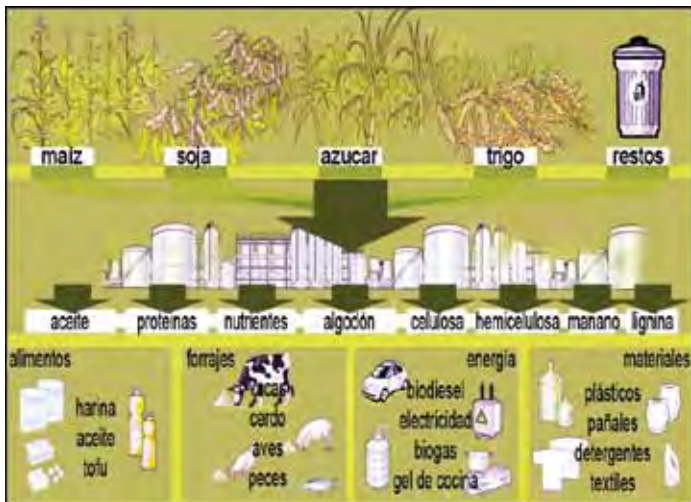
chada; menos de lo que consume en promedio un automóvil al año. Se calculó que para proveer biocombustible a todo el parque de Estados Unidos se requieren 3 Estados Unidos plantados de maíz. La Argentina tienen 20 millones de hectáreas cultivadas con soja y cerca de 7 millones de vehículos. Para países con poca superficie cultivable parece muy poco práctico. El biocombustible se sostiene por las subvenciones que son consideradas parte del desarrollo del producto. Con una TRE baja, ¿no hay mejores usos para ese suelo? ¿Cuál sería el impacto de una producción de biocombustible a gran escala?

Segunda generación. Ante las objeciones al uso de productos agrarios para combustibles, se desarrollaron técnicas con algas, residuos agrícolas o forestales (etanol celulósico). Pueden usarse desechos agroindustriales ricos en hemicelulosa, aunque la hidrólisis es compleja para obtener azúcares libres fermentables. Requiere de una mayor cantidad de energía inicial antes de la fermentación, pero como se usan residuos parece ser una alternativa válida, ya que de lo contrario se perderían.

Los biocombustibles desde corteza de árboles tienen un problema en la técnica necesaria para romper las células que contienen lignina y celulosa. El procesamiento de material leñoso puede realizarse mediante

bacterias, por ejemplo las que usan las termitas. Recientemente se encontró que el panda tiene bacterias que procesan en forma muy eficiente el bambú. El sistema digestivo es muy reducido y solo gracias a microorganismos logran el procesado. La propuesta es extraer los genes de estas bacterias y ponerlas en levaduras transgénicas que digieran los restos leñosos produciendo azúcares que por fermentación llegarían al etanol. También, se reportó el aislamiento de un gen en una hierba que produce lignina más fácil de romper y que aumenta la producción de azúcares al doble. La producción de material leñoso fácil de romper es esencial si se quiere producir biocombustibles. Los investigadores aseguran que esta transgénesis no tiene contraindicaciones para las plantas y que no podría propagarse horizontalmente debido a que esta particularidad no asegura una ventaja en la vida natural.

Otros están trabajando con algas marinas que combinan luz solar, agua y CO₂ para producir aceites aptos para sintetizar hidrocarburos. En el 2010, el biocombustible de algas tenía un costo de 112 dólares el litro. También, se podría usar organismos transgénicos para obtener algas que produzcan hidrocarburos. De hecho, en el 2013 se reportó la "construcción" de una bacteria *E. coli* con genes que permiten sintetizar enzimas que procesan la grasa y excretan hidrocarburos que se mezclan directamente con el combustible diésel. Este caso tiene 2



2252. Producción de bioplásticos. Los bioplásticos son el resultado del procesamiento desde fuentes vegetales. Entre los distintos derivados están los alimentos, pero también energía (biocombustibles) y materiales (bioplásticos) (arriba-derecha). Los materiales originales y el proceso que se aplica para obtener los productos finales (izquierda) tienen diferentes variantes, muchas de ellas en experimentación. Los plásticos de mayor interés no son los derivados del petróleo que con aditivos se convierten en biodegradables (PBAT y PBS), sino los bioplásticos degradables y provenientes de materia orgánica (PLA y PHA). Se muestran algunos ejemplos (abajo-izquierda) y la degradación similar a compost (derecha).

incógnitas, el costo de producción industrial a gran escala y la fuente de grasas para alimentar a las bacterias.

Los bioplásticos. La producción industrial de biocombustibles no agrícolas se mostró muy difícil. Para el 2014 muchas empresas discontinuaron estos proyectos por falta de financiación. Otra línea de trabajo fue producir plásticos a partir de los vegetales (bioplásticos). Los plásticos derivados del petróleo consumen el 7% del recurso anualmente (150 Mt/año). Hay 4 tipos de plásticos: (1) los tradicionales que no son biodegradables y provienen del petróleo (PE, PET); (2) los plásticos que no son biodegradables y provienen de plantas y petróleo (bio-PE, bio-PET); (3) los plásticos derivados del petróleo que son biodegradables (PBAT, PBS) y (4) los bioplásticos degradables y provenientes de plantas (PLA, PHA). Para lograr plásticos biodegradables desde el petróleo se les añaden sales inocuas de metales pesados. De esta forma, las cadenas de hidrocarburos se degradan en 3-5 años (en lugar de 100).

Lo más interesante está en los bioplásticos degradables. Los bioplásticos, como el PLA (ácido poliláctico de Dow Chemical), se procesan como si fuera un residuo orgánico. Uno de los problemas es que se degradan muy rápido. La producción de bioplásticos requiere más energía y resultan más caros. Se producen desde el almidón (maíz, trigo, papas o desechos agrícolas) mediante el uso de microorganismos que transforman por fermentación en ácido láctico. Es la base para formar el polímero ácido poliláctico. Cuando estos polímeros se entrecruzan se forma la estructura del plástico con el cual pueden fabricarse diferentes productos (envases de alimentos y bebidas).

El PHA (polihidroxialcanoato) es otra alternativa y se obtiene desde microorganismos que los acumulan como sustancias de reserva. Como es una técnica difícil de cultivar, resulta más interesante usar bacterias transgénicas que sinteticen PHA. De la misma manera, los genes podrían introducirse en plantas y así abaratar los costos de producción. El PHA es usado en envases de alimentos donde se aprovecha que sean degradables, termoplásticos y que tengan buena capacidad de barrera a la humedad. Sin embargo, son quebradizos y de altos costos de producción.

Un estudio del año 2010 comparó 12 diferentes alternativas de plásticos. Concluyó que los bioplásticos son mejores por ser biode-

gradables, de baja toxicidad y por usar recursos renovables. Pero, la agricultura y química necesarias consumen mucha energía (tienen baja eficiencia energética) y contaminan con los agroquímicos (fertilizantes y pesticidas). Así, los bioplásticos resultaron ser los que más atentaban contra la capa de ozono. Un tipo de PLA fue el que más contribuyó a la eutrofización y un PHA encabezó la categoría de acidificación. Los PLA y PHA encabezaron la lista de ecotoxicidad y carcinógenos. El plástico bio-PET combinó lo peor de la agricultura con el petróleo (nocivo en la producción y uso). En suma, los bioplásticos son buenos para el ambiente como plástico y malo como provenientes de la agricultura (un estigma a resolver).

¿Qué es biodegradable? Casi todo se biodegrada, si se ignora el tiempo. Para evitar la publicidad engañosa se debe definir el tiempo de degradación. En Estados Unidos se acepta que algo es biodegradable si la totalidad del producto se degrada en el término de un año. La desconfianza proviene del hecho que se agregan materiales para facilitar la degradación de los plásticos. Según se afirma estos agregados atraen los microbios que facilitan la degradación y en algunos casos los aditivos son naturales. Otro problema es el tipo de descomposición que se produce: aeróbica (libera CO₂) o anaeróbica (libera metano). Si la descomposición se hace en vertederos apropiados es posible aprovechar los gases y residuos.

Investigaciones independientes muestran que muchos materiales publicitados como biodegradables en realidad no lo son. Desde el año 2013 se generaron varios juicios por publicidad engañosa. Pero, solo se llegó a condenas leves, donde se obliga a dejar de hacer la publicidad en cuestión. A esto se agregan términos como "amigables con el ambiente" o similares que añaden confusión al usuario. Piense en palabras como "light", "bajas calorías" o los envases color "verde" que ayudan a confundir al comprador de alimentos. El término "bio" hace suponer que el consumo "beneficia" al ambiente. El término bioplástico (producido a partir de fibras vegetales) no significa que sea biodegradable (compostable como la materia orgánica), y la diferencia está en cómo se procesan al final de la vida útil. Los plásticos no se descomponen de acuerdo con el material base (petróleo o vegetales) sino en relación con la estructura de las moléculas. Una estructura de polietileno PET obtenida de petróleo o vegetales son idénticas y difíciles de degradar por igual.

La minería (i): El carbón para energía eléctrica

El carbón mineral es una roca sedimentaria (producto de sedimentos compactados), de color negro, muy rica en carbono y que proviene de biomasa fosilizada. Se diferencia del "carbón vegetal" en que éste proviene de la combustión incompleta de la madera. En la roca de carbón también se encuentran trazas de hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno. El carbón surge por dos procesos. (1) La diagénesis es la descomposición por bacterias aeróbicas (con oxígeno), seguido por el enterramiento parcial y la descomposición por bacterias anaeróbicas (sin oxígeno). Esto genera la turba (materia orgánica descompuesta en forma incompleta). Un enterramiento posterior más profundo desprende ácidos hasta un pH4 y se forma el lignito. (2) La metamorfosis se produce por aumento

sucesivo de la presión y temperatura. Se inicia a 500 m de profundidad y 100 °C (carbón sub-bituminoso) y llega a 5.000 m y 300 °C (la antracita).

Las variedades de carbón que se pueden obtener se clasifican por la humedad, porcentaje en minerales no combustibles, poder calorífico e inflamabilidad. Medido por índice creciente de carbono se tiene: la turba (no es carbón aún y tiene 50-55% de carbono), lignito (55-75% de carbono y bajo contenido de azufre); hulla o carbón bituminoso (75-90% de carbono y alto contenido de azufre) y antracita (más del 90% de carbono). El carbono puro se llama grafito y no se usa como combustible.

La mayor parte del carbón se formó en el período Carbonífero (359-299 Ma) debido a la gran cantidad de vegetación en pantanos y por la alta temperatura y humedad. La mayoría de las pruebas apuntan a que los restos vegetales fueron arrastrados y se acumulaban en el fondo de las cuencas. Fueron tapados en forma sucesiva y disponían de poco acceso al oxígeno. Las bacterias anaeróbicas produjeron un enriquecimiento en carbono en forma paulatina. Luego fueron cubiertos con depósitos arcillosos con lo que se aseguró la continuidad del proceso anóxico (sin oxígeno). Se estima que un metro de espesor de carbón proviene de más de 10 metros de limos carbonosos. En las cuencas carboníferas las capas de carbón están intercaladas con otras capas de rocas sedimentarias (areniscas, arcillas, rocas metamórficas como esquistos y pizarras). Esto se debió a la erosión de las zonas litorales que produjeron deslizamientos esporádicos. En las cuencas hulleras se conservan las marcas de vegetales terrestres fósiles y troncos bien conservados.

Energía eléctrica desde carbón. El carbón es un combustible fósil, es el más contaminante y el más barato y abundante. Las medidas de reemplazo de carbón por otras alternativas volverán al carbón más barato aún y más tentador para los países que se están desarrollando. En el 2010, el carbón suministraba el 25% de la energía primaria consumida en el mundo y el 40% de la energía eléctrica. La Argentina no utiliza carbón como fuente de energía. Europa es un caso de interés por la variedad de políticas entre países. El carbón en Europa (lignito de baja calidad y alta emisión) genera el 10% de las emisiones de CO₂. Al ritmo de la primera década del siglo, Europa consumirá en el 2020 todo el presupuesto de carbono hasta el 2100 a fin de mantener el calentamiento debajo de +2 °C respecto de la era preindustrial (hoy estamos encima de los +0,85 °C y la tendencia actual llega a +5 °C en el 2100). En otras palabras, de las reservas de carbón contabilizadas en Europa el 90% deberán permanecer bajo tierra. Toda Europa en el 2014 genera el 25% de la electricidad mediante carbón y el difícil objetivo es bajar a 4% en el 2035. Sin embargo, se siguen construyendo centrales nuevas que tienen 40 años de vida útil.

En Alemania para eliminar las centrales nucleares (que no emiten CO₂) se aumenta la generación a carbón y las renovables. Polonia depende en el 90% de las centrales a carbón y la central mayor en Belchatow emitió 37 MtCO₂ en el 2013 (la más contaminante de Europa). En el Reino Unido se contabilizan 1.600 muertes al año debido a los contaminantes de las centrales, como el dióxido de nitrógeno o de azufre. Por ejemplo, la central de Aberthaw (Gales) utiliza lignito de baja calidad que es difícil de encender y requiere catalizadores químicos. Las emisiones de NO₂ fueron superiores a 1.200 miligramos por m³, cuando el máximo permitido es de 200 mg/m³. Para mejorar las emisiones comenzaron a mezclar el carbón local con el importado de Rusia.

Debido a lo extendido que está el uso de carbón para centrales térmicas de energía eléctrica se mejoró el rendimiento y la emisión de contaminantes. También se desarrolló la tecnología de ciclos combinados que utiliza gas obtenido del carbón. El metano (CH₄) se forma por descomposición orgánica hasta los 50 °C (metano biológico) y bajo tierra se forma por alta presión y temperatura (metano termogénico). El metano quedó almacenado al ser químicamente absorbido por el mineral carbón. Con el aumento de la profundidad la presión aumenta y se llega a un mayor contenido de gas. Este gas empezó a notarse cuando se construyeron minas con túneles a gran profundidad. Uno de

los mayores peligros de las minas es el metano de las vetas de carbón, ya que si se libera puede volver imposible la respiración y generar explosiones. En la década de 1970 comenzó a usarse como combustible y se convirtió en una fuente no convencional de gas.

Muchos problemas. Las centrales eléctricas a carbón generan el 40% de la electricidad mundial y son responsables del 70% de las emisiones de GEI. La minería de carbón tiene un impacto muy grande en la salud pública y el ambiente. Algunos ejemplos son los siguientes.

(1) En el siglo XX en Estados Unidos murieron 100.000 mineros en accidentes, pero en China, solo en el 2004 murieron más de 6.000 mineros. China produce el doble de carbón que Estados Unidos, pero tiene 50 veces más mineros. China consume tanto carbón como el resto del mundo y produce el 85% de la energía eléctrica mediante carbón (1.000 GW). Además de los accidentes, la minería de carbón extrae en forma natural materiales radioactivos en forma de cenizas que se inhalan y se incorporan a los cultivos. La producción de carbón consume ingentes cantidades de agua para el lavado y control del polvo; contamina las aguas subterráneas e impactan sobre la vida silvestre. El uso de carbón en centrales térmicas para producción de electricidad emite más del doble de CO₂ que el gas natural y libera otros 20 productos químicos tóxicos.

(2) La India tiene la 5ta reserva de carbón mundial. En el 2014 se informó que, para producir electricidad, se pasará de 512 Mt de carbón anual al doble en el 2019. El impacto ambiental de las minas de carbón a cielo abierto en Dhanbad es apocalíptico sobre una franja de 40 km por 5 km de ancho. China obtiene el 90% del carbón de minas subterráneas, pero en la India el 90% es desde minas a cielo abierto. Pueblos rodeados por escombreras, humo que emana de incendios centenarios, sectores que se hunden, viejas minas inundadas. Algunos incendios se iniciaron en 1916 debido al mal cierre de las minas. Hay cerca de 70 incendios activos que consumieron cerca de 40 Mt de carbón. Aun así, la propuesta oficial es seguir creciendo con el consumo de carbón. El impacto por el uso de carbón se extiende hasta el Himalaya. El polvo de carbón (producto de la combustión incompleta) logra absorber calor y es la causa de la pérdida de nieve en la cadena montañosa. Esto también aumenta las lluvias en Bangladesh y las reduce en el centro de la India.

(3) La minería abandonada introduce metales lixiviados en un proceso que se llama "drenaje de ácidos". Son aguas de color amarillo llena de metales, que se convierte en ácido sulfúrico por la mezcla con agua y oxígeno. Allí se desarrollan las bacterias (*Thiobacillus ferroxidans*) que aceleran el proceso. El ácido se filtra lentamente en un proceso que dura centenares de años y contamina los drenajes. Solo en Ohio (Montes Apalaches) hay 4.400 minas abandonadas que contaminan 1.300 km de ríos y arroyos. Los peces muestran contaminación con selenio y en 73 de 78 muestras el nivel resultó tóxico. De los peces, la contaminación se propaga por la cadena trófica. En las zonas afectadas, se encontró que la proporción de defectos de nacimiento es casi el doble (235/10.000 contra 144/10.000) en un registro de 1,8 millones de nacimientos en 1996-2003. Los planes de remediación se mostraron difíciles de financiar y mantener. La financiación se realiza con impuestos sobre la minería de carbón (55 proyectos en Ohio), lo que beneficia a la extracción de gas mediante fracking, y obligará a la remediación futura. En Pennsylvania se in-



2261. Carbón y electricidad. El carbón mineral es el producto de la diagénesis y el metamorfismo natural de materia vegetal. Se tienen varias calidades de acuerdo con la concentración de carbono (arriba-izquierda). Alemania canceló su programa nuclear e implementó un agresivo plan de energías renovables, pero en forma temporal incrementó el consumo de carbón. La mina de Welszow explota lignito de 18 Ma de antigüedad (derecha). Durante el proceso de generación eléctrica (centro-izquierda), el carbón (1) se quema (2) para producir vapor de agua (6-7) que mueve una turbina (3) y un generador (4) que produce electricidad (5). Del carbón puede obtenerse también gas, que resulta más limpio para producir electricidad (derecha). Las minas de carbón tienen el peligro de incendios de difícil control (abajo). En febrero 2014, un incendio forestal encendió la mina de carbón a cielo abierto en Morwell-Australia (izquierda) que duró varias semanas. En cambio, en Centralia (Estados Unidos), la mina es subterránea y el incendio lleva década (centro). El impacto ambiental de las minas de carbón a cielo abierto en Dhanbad-India (derecha) incluye: escombreras a cielo abierto, humo e incendios subterráneos activos, hundimientos y viejas minas inundadas.

tenta usar aguas contaminadas de la minería en las explotaciones de fracking.

(4) Los fuegos naturales en vetas de carbón son frecuentes y pueden iniciarse en incendios forestales o ser una ignición espontánea en ciertas condiciones de temperatura y humedad. Por ejemplo, en Centralia (Pennsylvania) en 1962 se incendió una mina subterránea debido a la incineración de residuos del pueblo. La temperatura en la superficie fue aumentando y obligó la evacuación. El fuego aún persiste y en el 2010 quedaban solo 10 habitantes en Centralia. Hay cerca de otros 200 incendios activos en Estados Unidos. En China se estiman en miles la cantidad de focos de incendio activos. El problema es que las explotaciones son para autoconsumo de los habitantes y el control casi no existe. Cuando la profundidad del incendio impide la ventilación y la eliminación del calor, la combustión es lenta y dura por mucho tiempo. En Planitz (Alemania) un fuego iniciado en 1476 se apagó en 1860. En Monte Wingen (Australia) un fuego subterráneo natural lleva 6.000 años de actividad y se mueve a un ritmo de un metro al año. En las vetas de carbón del río Powder (Wyoming) tienen fuegos naturales desde hace 3 millones de años y cubren de escoria de carbón a un área de 4.000 km².

(5) La minería también produce la pérdida de bienes culturales. Por ejemplo, en 1967 la empresa Peabody comenzó a trabajar una mina de carbón en reservas de indios Navajo y Hopi (Arizona y Nevada). Para proteger los bienes culturales enterrados, los arqueólogos trabajaron durante 17 años y se rescataron restos de 200 nativos y 1 millón de artefactos (Proyecto Mesa Negra). La organización conservacionista Sierra Club demandó al gobierno y la empresa en el 2014 por la conservación de la colección y el uso inapropiado en las universidades para enseñanza. En Estados Unidos hay 200.000 cuerpos de nativos desenterrados por la arqueología y que deben ser devueltos por ley de 1990. El ICOM (*International Council Museums*) generó un código de ética profesional para atender a estos reclamos.

(6) Las centrales eléctricas a carbón son las más contaminantes. Para reducir las emisiones de CO₂ se propuso la captura y almacenaje, en un proceso de geoingeniería. El primer emprendimiento (2015) se encuentra en Estevan (Canadá). La captura se produce en la central térmica y reduce la energía que entrega en el 20%. Los gases se filtran y el CO₂ se comprime. Se procesan 3.000 tCO₂/día. La mayoría del CO₂ se lleva a 65 km de distancia para inyectar en los pozos de petróleo y facilitar la extracción. Otra parte se inyecta a 3,4 km bajo tierra en un acuífero salino.

Movimiento “desinversión”. La desinversión en combustibles fósiles es una propuesta de “dumping” a las empresas del sector. Se conoce como iniciativa *Global Divest-Invest* y se asemeja a un boicot *apartheid*. Un argumento refiere a que “mucho se dice en regular las emisiones y nada de regular la producción” de combustibles fósiles.

Una posibilidad es que los accionistas obliguen a los fondos de inversión privados o públicos a vender las acciones que tienen en empresas de energía fósiles. Otra alternativa corresponde a las ciudades que deciden desprenderse de la alimentación de energía eléctrica desde fuentes fósiles. La campaña de desinversión fue impulsada por 350.org y la primera ciudad en Estados Unidos fue Seattle en el 2012. La primera ciudad capital fue Oslo (Noruega) que vendió en el 2015 las acciones de su Fondo de Pensiones de empresas re-

lacionadas con carbón por valor de 7 Mus\$ (no fue mucho, pero si la primera). Sin embargo, el fondo público de Noruega GPF (el fondo soberano más grande del mundo, equivalente a más de un PBI de la Argentina) continúa con las inversiones en combustibles fósiles, pero indicando que analizará caso por caso. Como medida complementaria, en Oslo adoptaron la producción de biocombustibles para autobuses con los residuos de la ciudad.

Opuestos al proceso de desinversión, en la industria del carbón se formó un núcleo duro de empresas (Glencore, Río Tinto, entre otras) que formaron un cartel y decidieron en el 2014 no reducir la producción. Esta medida logra que se produzca más (1.083 Mt de carbón en el 2015) que lo que se usa (1.053 Mt). Aumenta la producción el 1%, en tanto el consumo se reduce el 1%, respecto del 2014. Como se reduce el precio por la sobreoferta, prevalecen las empresas con bajos costos. En 2011 el carbón valía cerca de 150 us\$/t y en 2015 se redujo a 60 us\$/t. Con el petróleo pasó lo mismo cuando Arabia Saudita en 2014 decidió mantener la producción y bajó el precio del barril de 100 us\$ a 50 us\$. La reducción de precios de los combustibles fósiles compite con el proceso de cambio a energías renovables. Ninguna empresa quiere ser la primera en reducir la producción ya que las acciones se verían afectadas de inmediato. Lo que hacen es ajustar los costos.

Argentina: minería y carbón. La empresa estatal YCF (Yacimientos Carboníferos Fiscales) funcionó desde 1958 hasta la privatización en 1994. Se encargaba de la explotación, transporte y comercialización del carbón del yacimiento Río Turbio (Santa Cruz). La producción de carbón alcanzó el máximo en 1972 con 0,57 Mt y desde allí se estancó y cayó. La Argentina cambió su interés por la generación hidroeléctrica y nuclear. En el 2004 un incendio en una de las galerías mató a 14 mineros. La mina de Río Turbio volvió a estatizarse y se mantuvo con subsidios y la promesa de construir una central térmica en la boca de la mina, aunque el carbón extraído tiene bajo poder calorífico y es poco rentable.

Una comparación. La central térmica de Río Turbio a carbón entregará 240 MW con un costo estimado en 700 Mus\$. Al mismo tiempo, Pan American Energy (Chubut) instala turbinas en la boca de pozos de gas con potencia de 322 MW y costo de 210 Mus\$. Es decir, generará 35% más potencia con un costo 3,3 veces menor. El balance empeoró cuando en el 2015 se confirmó que la central térmica a carbón requería 1,2 Mt al año y la mina podría entregar la cuarta parte y de una calidad inapropiada. La propuesta oficial fue entonces hacer la central dual carbón-gas con la provisión de gas desde el yacimiento Meseta Cerro Chico o importarlo desde Chile.

La minería ocupó la tapa de los diarios no por el carbón, sino por los megaproyectos a cielo abierto. El primero (1997) fue la mina Bajo de La Alumbrera (Catamarca). El protagonismo se da por intereses encontrados y la falta de discusión y acuerdo acerca de cómo explotar los recursos minerales y garantizar la protección del ambiente y la sociedad en el marco de una minería sustentable. Se requieren regulaciones aceptadas y una justicia que ampare los derechos. Ante esta ausencia parcial, las soluciones se buscan mediante el conflicto con resultados de “todo-nada” y “suma cero”.

En la Constitución Nacional (1994) queda establecido que los recursos naturales son propiedad de las provincias y ellas deben

negociar con las empresas mineras. Así se acomodan 5 partes a dialogar: (1) el Gobierno Nacional, con actitud prescindente o a favor de la minería; (2) el Provincial, a favor de la minería pero con poder limitado frente a las multinacionales mineras; (3) las empresas mineras, con gran poder económico y poca voluntad de diálogo por fuera de las autoridades; (4) los pobladores locales, que dividen sus preferencias de acuerdo con los intereses comerciales o una voluntad ambiental genuina y (5) las organizaciones ambientalistas, con diferentes niveles e intereses de participación. Cubren desde un nivel profesional y activista (como Greenpeace) hasta grupos de

base, que pueden estar ligados a partidos de izquierda contrarios a las multinacionales.

Los problemas son varios: un gran impacto ambiental y la posible contaminación; conflictos por los dividendos de la explotación minera (el 77% de los dividendos de Bajo La Alumbra son de los inversores extranjeros) y los problemas de diálogo y posiciones intransigentes. La minería aparece como inevitable para mantener el desarrollo de la sociedad industrial, el objetivo es que sea sustentable y se resguarde el ambiente y la sociedad local.

La minería (ii): la megaminería a cielo abierto

La producción. Este tipo de minería es causa de fuertes conflictos. Genera un significativo impacto ambiental que perdura más allá de las operaciones de extracción de minerales. Una operación grande requiere infraestructura de servicios públicos, un campo de aviación, carreteras, ferrocarril, puerto de embarque y todas las instalaciones para la comunidad. Para el transporte de minerales se requieren: camiones, cuchillas, palas y dragas mecánicas, rapadoras, bandas, poliductos y rieles (todo de tamaño descomunal).

La secuencia de trabajos incluye: (1) la exploración mediante muestras del suelo; (2) la perforación para extraer muestras a profundidad; (3) el desmonte y acumulación de rocas que no son útiles; (4) el minado para abrir el tajo en la montaña y llegar a la "mena" que es la roca que contiene el mineral buscado; (5) la rotura y carga de rocas para moverlas; (6) el transporte de rocas útiles hacia la pila de lixiviación (separación de minerales); (7) el transporte de los materiales no útiles (escombros o "ganga") hacia una pila de descarte; (8) el armado de la plataforma de lixiviación sobre una membrana protectora y el riego mediante una solución; (9) la recolección de la solución rica en oro y plata; (10) el reciclado de los materiales de la plataforma; (11) el refinado en una fundición para obtener los minerales; (12) el tratamiento de las aguas antes de devolverlas al ambiente; (13) el vertido en reservorios de aguas residuales.

(1) La apertura. Las obras iniciales de la mina impactan en el ambiente por alteración del suelo cuando se elimina la capa superficial, se pierde la vegetación y se modifican los ríos alterando el cauce y eliminando los humedales. El dragado aumenta el volumen de sólidos suspendidos, reduce la luminosidad y recircula contaminantes de los sedimentos. Los trabajos en el subsuelo pueden facilitar la contaminación de los acuíferos; puede interrumpirlos o conectarlos con otros. Durante la explotación se produce la contaminación del aire mediante gases y polvo (nubes de partículas); modificación de la topografía con trituración y molienda de las rocas; erosión eólica e hídrica desde las pilas donde se vuelcan los desechos; la tierra se vuelve inestable con fracturas y hundimientos; se abren sendas para el transporte y aumenta el ruido. En paralelo se tienen conflictos con otras actividades con menor poder de negociación (agricultura familiar y ganadería extensiva).

Los efluentes liberados pueden ser muy ácidos y contaminar las aguas con nitratos, metales pesados o aceite de las máquinas. Se puede producir filtración en las piscinas de relaves o derrames de solven-

tes y lubricantes. Los drenajes ácidos ocurren cuando los minerales que contienen sulfuros se convierten en ácido sulfúrico por exposición al aire o agua. Este ácido puede disolver metales pesados (plomo, zinc, cobre, arsénico, mercurio o cadmio) de las rocas, residuos o colas y ser arrastrados por el agua. Algunas minas romanas en Gran Bretaña generan drenajes ácidos 2.000 años después de cerrarse.

(2) La lixiviación. De los peligros el más preocupante son los agentes químicos que se usan en la lixiviación. Este proceso necesita una amplia red de transporte, fuentes de agua y energía eléctrica, instalaciones de apoyo y caminos de acceso. La plataforma de lixiviación se prepara en la superficie o usando una fosa, colocando forros y ripio en la base; se instalan tuberías y se amontona el material mineral encima. El agente lixivador es ácido sulfúrico para el cobre y sodio con cianuro para el oro. El cianuro de sodio se gotea a razón de 50 gramos por cada 1.000 litros de agua. Sirve como amalgama para el oro y la plata. Se rocía encima de las pilas y se recoge debajo para recuperar los metales. Después del proceso de lixiviación, se lava permitiendo que el líquido se filtre y se extraiga el metal. Durante el proceso se puede llegar a perder el control del líquido lixiviado; tener problemas con la tubería; provocar derrames y fugas o una insuficiencia del lavado.

(3) El cierre o abandono. La explotación minera es un uso intensivo de corta duración y el cierre arrastra un gran impacto ambiental. Puede quedar abandonada sin previo aviso y sin tomar las medidas de corrección finales. La posibilidad de utilizar la tierra después de la minería dependerá del tipo, grado y éxito de la producción. Pero, los nuevos caminos de acceso estimulan el desarrollo espontáneo y la modificación o degradación de las áreas remotas. Cuando la explotación se retira, quedan los problemas residuales. Hay peligro de desmoronamiento de las paredes verticales y taludes de las pilas de desechos. Las fosas inundadas representan una trampa y se pueden producir emanaciones, fracturas y el colapso de la superficie del terreno. La alteración de los acuíferos o la fracturación causada por los trabajos, pueden provocar la pérdida o degradación de las fuentes de agua freática (con ácidos o metales pesados). Pueden quedar residuos de minerales peligrosos esparcidos. ¿Quién carga con los costos de remediación, suponiendo que esto es posible? (estos son costos externos y ocultos de los proyectos con riesgo ambiental).

A los problemas ambientales se agregan aquellos que afectan a la sociedad. Se pueden degradar o destruir los recursos culturales, lugares

históricos y sitios religiosos. La mayor presencia humana en el área puede conducir al vandalismo de los sitios no protegidos. Las vibraciones de la operación de los equipos y la voladura, así como el ruido y el polvo, causan problemas en los residentes cercanos. Los trabajadores y sus familias puede sobrecargar los servicios comunitarios y causar la "bonanza y quiebra" del lugar. Se agudizan los conflictos económicos, sociales o culturales y puede desplazar a la población local, aunque sea indemnizada.

Ejemplos emblemáticos. En Montana, la mina Berkeley Pit es un ejemplo de abandono posterior a la explotación (1955-1982). En las décadas siguientes, el agua del acuífero se está filtrando y llena la mina. Hoy es uno de los lagos más letalmente contaminado del mundo. El agua ácida tóxica (pH 2,5) mató a 342 gansos de nieve que bajaron en 1995. Pero el peligro máximo es que contamine el suministro de agua subterránea de la región, hecho que ocurrirá hacia 2020 cuando se llene el lago y se revierta la circulación de agua. Otro caso es la mina de cobre de Bingham Canyon (Utah), donde en el año 2013 se produjo el deslizamiento no natural más grande de la historia. Es la segunda mina más profunda con 1.200 m de profundidad. El deslizamiento llevó 2 meses de movimientos muy lentos por lo que era esperada y no causo más que pérdidas materiales.

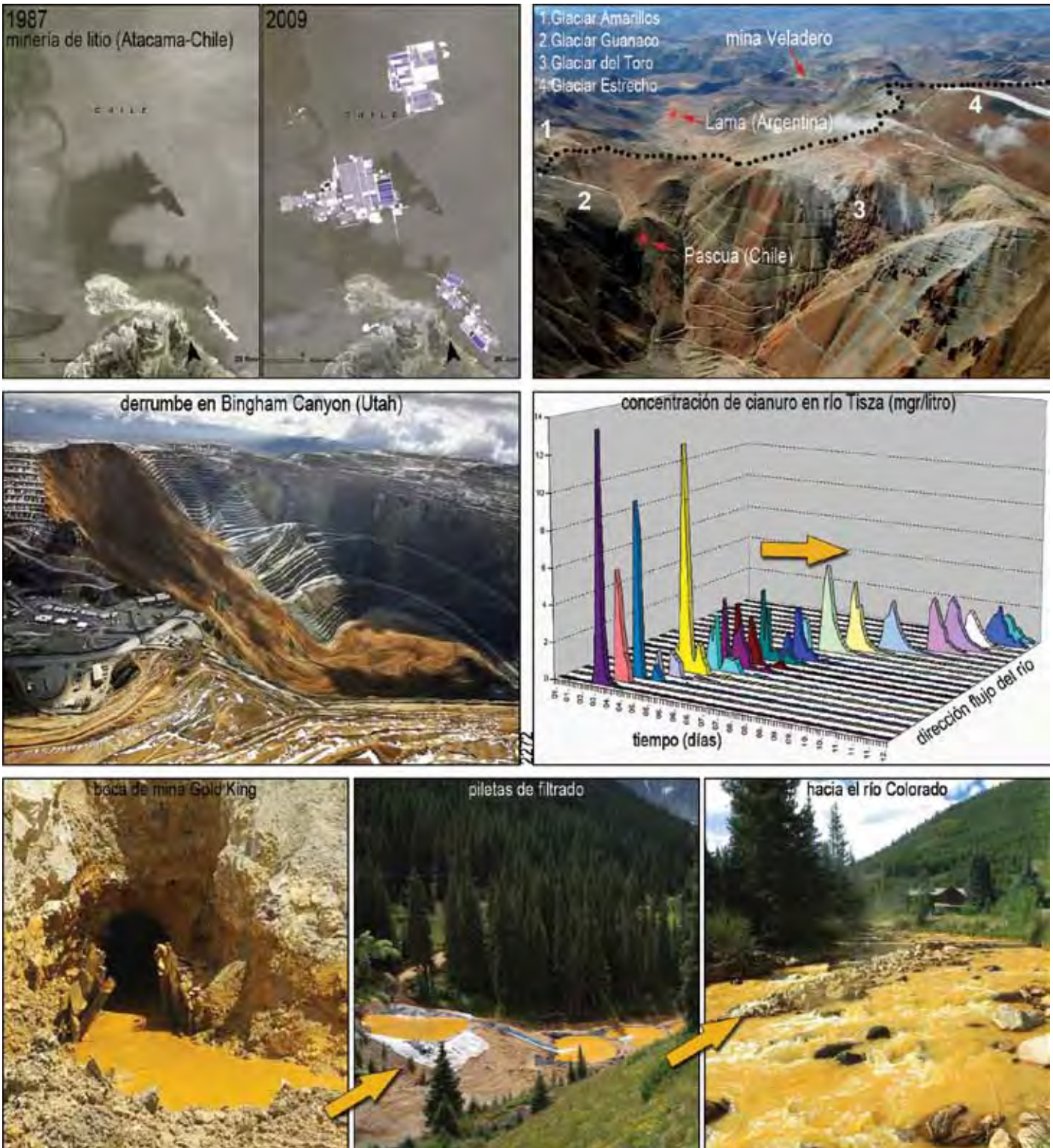
En Indonesia, la mina de oro Grasberg está situada en el centro del Parque Nacional Lorentz. La cicatriz en la tierra vierte por año cerca de 80 Mt de desechos residuales en el sistema fluvial Ajkwa. La carga se acumula como sedimentos a lo largo del río, del cual desaparecieron los peces. Los contaminantes pesados terminan en el océano.

En el año 2000 se quebró el dique de contención en torno a una pileta de residuos de la mina de oro en Baia Mare (Rumania). Entonces, 100.000 toneladas de aguas residuales contaminadas con cianuro de potasio y residuos de metales pesados fluyeron durante tres semanas, a través de los ríos Tisza y Danubio. El cianuro llegó hasta el Mar Muerto, aunque diluido. Se produjo un masivo envenenamiento de animales en Rumania, Hungría y Serbia. Es catalogado como el segundo desastre natural de Europa, luego de Chernobyl. La operadora de la mina de oro siguió explotándola cuatro meses después bajo otro nombre: Aurul se declaró en quiebra para no tener que responder por los daños y la nueva Transgold, se hizo cargo del negocio, pero no de la catástrofe ambiental.

Metales pesados. La minería es el origen de los metales pesados, aunque no existe una definición de consenso sobre que es un me-



2271. La minería a cielo abierto. El proceso completo de la minería a cielo abierto (arriba) incluye: la exploración (1-2), apertura del terreno mediante dinamitado (3-4), la formación de la plataforma de lixiviación (5 a 8) y el refinado de los metales (9 a 13). La fotografía satelital (abajo-izquierda) muestra la mina Los Pelambres en Chile (frontera con San Juan) cuya escombrera ingresa en territorio de la Argentina. La misma zona está concesionada a la Mina El Pachón en el lado argentino y está en litigio judicial por la escombrera invasiva. La mina Bajo La Alumbra en Catamarca (derecha) muestra el tajo de 800 m de profundidad. En esta mina no se hace lixiviación.



2272. Problemas de la minería. (1) Un problema inicial es la competencia de la minería con otras actividades por los recursos naturales (p.e., uso del agua, producción agrícola, turismo). En el caso en el desierto de Atacama, la minería en los salares es para la producción de litio (arriba-izquierda). (2) En alta montaña existe un riesgo de sobreexplotación de glaciares y permafrost, los que regulan el suministro de agua a las poblaciones aguas abajo. Tal el caso del Proyecto Pascua-Lama en la frontera chileno-argentina (derecha). (3) En la mina pueden producirse derrumbes desde las paredes laterales (centro-izquierda). Cuando la mina queda abandonada, el tajo se llenará de agua y reviste varios peligros. (4) También los residuos líquidos, como el cianuro, se pueden perder de control y derramarse. El derrame de cianuro en el río Tisza (Rumania) afectó a varios países en su recorrido río abajo (derecha). (5) El caso de la mina Gold King (Colorado) ocurrió en el 2015 y es un ejemplo que puede multiplicarse por miles (abajo). La ley minera de 1872 en Estados Unidos fomentó la minería permitiendo que el mineral bajo tierra fuera del propietario de la tierra. La mina Gold King dejó de operar en 1923 y los efectos se proyectan al presente. La pérdida de agua amarilla contaminada con metales pesados escapó de la mina (izquierda) y de los pilotes de deposición (centro) y llegó al río Colorado (derecha). En Estados Unidos hay cerca de 50.000 minas inventariadas y abandonadas con riesgos similares que no están monitoreadas por la ley en vigencia.

tal pesado. Algunos los definen como los elementos más pesados que el hierro Fe; o con número atómico mayor a 20; con densidad específica superior a 5 gr/cm³; elementos con propiedades metálicas; o simplemente por el hecho de ser tóxicos. Los metales pesados más tóxicos son el mercurio Hg, plomo Pb, cadmio Cd y arsénico As. Son necesarios para la vida, pero en exceso son tóxicos. No se degradan y se propagan por bioacumulación (magnificación de la concentración) en la cadena trófica. El hierro y su aleación (acero) son los más contaminantes y no por extracción de la roca, sino la purificación y refinado. Generó el 30% de las emisiones industriales de CO₂, seguido desde lejos por el aluminio con el 3%. Se estima que el 9,5% de la energía global del año 2008 se utilizó en la producción de metales y equivale al 30% de las emisiones de CO₂ de la industria.

El mercurio es un metal pesado muy cuestionado. Es usado en las lámparas bajo consumo (fluorescentes) y se libera cuando se rompen. También, es el responsable de enfermedades en Japón provenientes del consumo de peces contaminados. La propagación del mercurio llega muy lejos por el aire. En la Antártida se encontró que la contaminación por mercurio está afectando a las aves (págalos y skúas) al reducir la producción de hormonas para la reproducción. Los ejemplares anillados tuvieron menos crías en la medida que aumentaba la proporción de mercurio en la sangre. Un sistema sustentable de gestión de metales debe incluir la recuperación y mitigación de las consecuencias sociales y ambientales.

El oro es barato hoy día. Esta industria produce decenas de miles de toneladas de lodos al año que contienen metales pesados altamente tóxicos como el plomo, cadmio, cobre, mercurio y arsénico. Si se catalogara ese lodo como basura tóxica (usual en cualquier otra industria), el oro sería mucho más caro. Del Congo proceden muchos de los llamados "minerales de sangre". Son el oro, diamantes y minerales (tantalio, estaño o tungsteno) que además de contaminar financian las guerras civiles. Estados Unidos aprobó una ley que obliga a la industria electrónica a demostrar que sus recursos no provienen de la región en conflicto del Congo. Los activistas luchan porque la legislación se extienda al oro y al tantalio. En la Unión Europea trabajan en un sistema que compruebe el origen de los minerales, similar a las huellas digitales humanas. Otra posibilidad sería la certificación ecológica del mineral, al estilo de algunos productos agrícolas. Lo mejor sería reciclar el oro disponible en joyas. Un anillo de bodas ahorraría 20 toneladas de desechos tóxicos.

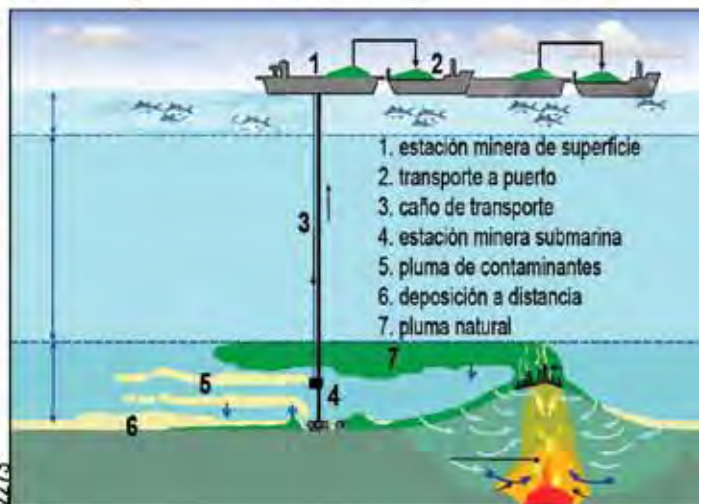
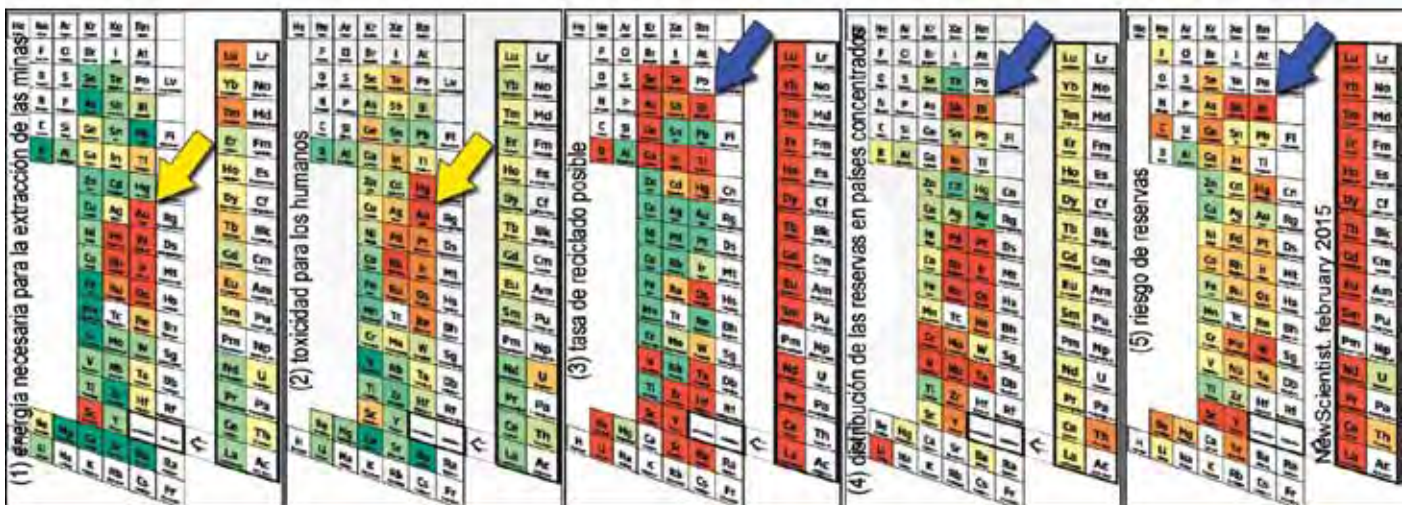
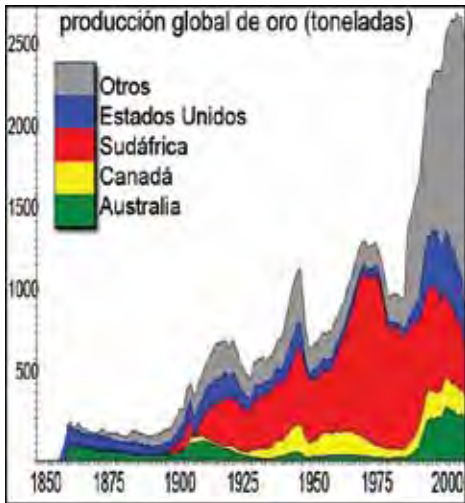
El caso: "Nevado Illimani". Un ejemplo de la intervención humana se encuentra en el estudio de los hielos glaciares del Illimani (La Paz-Bolivia). Los glaciares atraparon agua, polvo y gases desde el Pacífico y el Atlántico, en un registro que informa de las actividades humanas y naturales (cambio climático, gases de la minería, incendios forestales, erupciones volcánicas). Estos registros se encuentran en peligro de extinción en los Andes. Cuando se investigaron 139 metros de hielo del Illimani obtenidos en 1999, se encontró que la mayor parte de la contaminación con plomo en los últimos 2.000 años, no proviene de la industria de metales, sino de la gasolina en los últimos 50 años. La primera intervención humana corresponde a las civilizaciones Tiahuanaco y Huari (450-950 dC) interesadas en la minería. La minería en Bolivia extrajo plata, cobre y níquel, pero el plomo es un residuo que se tira en los hornos de fundición. Entre el 950 y 1400 dC el nivel de plomo se reduce por la caída de estas civilizaciones debido a una extensa sequía que está registrada en el hielo. La minería española

de plata (años 1600) elevó el valor natural de plomo en 4 veces, pero el uso de mercurio para separar la plata y el oro redujo la cantidad de plomo al valor natural desde 1570. Se llegaron a usar 45.000 toneladas de mercurio. A mediados del siglo XIX el nivel de plomo aumentó de vuelta por la minería de estaño. Sin embargo, desde 1960 los niveles de plomo aumentan hasta 20 veces el valor natural debido a los motores de combustión que usaban gasolina con plomo. El nivel comenzó a disminuir en la medida que se prohibió el uso del plomo en el combustible. Mucho más antiguas que el Illimani, en los orígenes de la humanidad, son las cuevas de Gibraltar. Esas cuevas fueron usadas por especies del género *Homo* desde hace 1,4 Ma y desde al menos hace 450.000 años hay indicios de contaminación con metales pesados (cobre, plomo, níquel, zinc) debido a incendios, humo y cenizas provocado en los hogares a leña.

Argentina: los glaciares. En el 2005 comenzó a funcionar la mina de Veladero (San Juan), un yacimiento de oro de la empresa Barrick Gold. Se generó mucha controversia por la contaminación del ambiente; el excesivo consumo de agua y la gran cantidad de espacio utilizado. Cerca de esta mina se encuentra el proyecto binacional Pascua (Chile) Lama (Argentina) sobre el cual hay varios glaciares. La principal queja fue la posible contaminación del agua de los glaciares con cianuro (usado para procesar el oro). Los glaciares son represas naturales formados de nieve compactada que sobrevive el verano, por eso son importantes para el abastecimiento de agua todo el año y fundamentalmente en época de sequías.

En el año 2008 se impulsó la ley 26.418 de protección a los glaciares. Fue aprobada por el Poder Legislativo y vetada por el Poder Ejecutivo. Luego de efectuarles cambios fue aprobada en el 2010 y reglamentada en el 2011. El CONICET fue encomendado para realizar el inventario de glaciares. Hacia el 2013 se habían relevado 6 de 11 provincias andinas. En San Juan se contaron 2.553 glaciares con más de 1 hectárea de superficie, repartidos en 9 cuencas de ríos. En total son unas 35.000 ha (el 0,39% de la superficie de la provincia). La ley de la Argentina es amplia ya que contempla los glaciares de escombros (peri-glaciares) y el agua subterránea congelada (permafrost), lo que mantiene la protección aunque el glaciar superficial desaparezca por efecto del cambio climático. Una ley similar se discutió en Chile en el 2013, donde la minería es mucho más extensa, la protección de glaciares más necesaria y afecta mucho más al desarrollo económico del país. En el 2014 la empresa Barrick Gold informó que suspendía temporalmente el proyecto.

En el 2015 un derrame en la mina Veladero de Barrick Gold cercana a Pascua-Lama generó alarma en la población. La rotura de una válvula derramó una solución con cianuro de sodio (NaCN) usado en la lixiviación. La cantidad vertida (un millón de litros) superó el canal de resguardo y llegó al río Turbio y el río Blanco. El río Turbio tiene un pH3 (agua ácida) por lo que no existen peces, ni beben los animales a lo largo de sus 20 kilómetros de extensión. La gran mayoría del anión cianuro (CN) contenido en la solución vertida se transforma en el tóxico gas cianhídrico (HCN) que pasa a formar parte de la atmósfera. El anión cianuro se detectó en baja proporción río abajo, en una décima parte del umbral de 50 ppm que podría afectar a los patos, las aves más sensibles al anión cianuro. El anión se combina con distintos minerales produciendo compuestos estables no tóxicos, además es degradado por los rayos ultravioleta y el cloro del sistema de potabilización. Desde 1907 se usa la sal cianuro de sodio para obtener oro y



2273. Reservas de minerales. La producción mundial de oro en 150 años (arriba-izquierda) muestra el “pico de producción” de las minas con mayor rendimiento. Esto obligó a recurrir a lugares con menor rendimiento y mayor costo ambiental (derecha). Por esto, la cantidad de oro extraído disminuyó desde 20 gramos por tonelada de roca en 1900 a menos de 5 g/t en la actualidad. Muchos elementos químicos se encuentran en riesgo de explotación debido a diferentes causas (centro). Teniendo en cuenta la Tabla Periódica de los Elementos se indica el estado desde 5 aspectos. Por ejemplo, el oro (flecha amarilla) se caracteriza por: (1) elevado costo energético de producción y (2) alta toxicidad de este proceso. Sin embargo (3) es reciclado; (4) las reservas están distribuidas en muchos países (no es un recurso geoestratégico) y (5) no hay riesgos de pérdidas de reservas inminente. En cambio, el bismuto (flecha azul) es el caso opuesto: tiene riesgos de reservas e imposibilidad de reciclado. En la Tabla no se muestra el estado de otros elementos como el fósforo necesario como nutriente para el agro. Un nuevo horizonte es la minería submarina (abajo-izquierda). Se planifica como un “cielo abierto” pero usando robots desde la superficie del océano. El impacto posible en el ambiente es variado (derecha): transporte marítimo intenso, cambios en los sedimentos con extracción y dispersión de materiales peligrosos; la diseminación en el fondo con el daño sobre la vida; ruido y pérdida de luz. Las normas ambientales a usarse no están convenientemente escritas y se convierte en un problema de urgente tratamiento.

plata en la minería la Argentina. Pero, como en otras oportunidades la confusión y ocultamiento de la información mantiene la desconfianza entre la empresa, las autoridades y la comunidad.

En Calingasta (San Juan) hay un conflicto con las mineras Los Peñales (Chile) y El Pachón (Argentina) por un tema de distinta índole. El problema surge porque la primera depositó 50 Mt de escombros estériles en 51 ha, pero 1,35 km dentro de territorio de la Argentina. El tratado de límites data de 1881 y el lugar en disputa está a 4220 msnm (una de las minas más altas del mundo). El problema actual son los costos de remediación para retirar los estériles desde la escombrera y reparar los daños ambientales. Es la primera disputa a nivel internacional de este tipo.

Nuevos horizontes. En la Bahía Bristol (Alaska) la empresa minera Pebble pretende extraer minerales donde el 99% de la remoción son desperdicios. La zona incluye 5.350 ha de humedales y el río con más caudal de salmones. Podría dañar gravemente la naturaleza intacta, el hábitat y su fauna, las culturas indígenas y la pesquería de salmón rojo de la región. Se dijo "no podría haber un ejemplo más claro de un beneficio a corto plazo obtenido en una pérdida a largo plazo". Otro caso es sobre el río Chitna donde se plantea el proyecto PacRim Coal para explotación de carbón. Un caso de mina de carbón en Alaska ocurrió en el siglo XIX. La minera en el Valle Matunuska cerró en 1922 cuando el alcohol, enfermedades y el cambio de dieta, colapsaron la población local dejando solo 40 indígenas.

Otro horizonte intacto por el momento es el fondo del mar, pero ya se está iniciando la revolución industrial marina. Esta minería podría ser una fuente de nódulos de manganeso, costras de cobalto, sulfuros para producir cobre y zinc y fosfatos e incluso para hacer fertilizantes. El océano es un vasto depósito y mirando en el largo plazo (cientos de años) es el próximo destino. La minería oceánica es tema desde los años '70, pero el avance en la robótica submarina y los crecientes precios de las materias primas acercaron este desafío a una realidad. Hasta el presente la minería submarina se ocupa de recuperar arena y minerales desde baja profundidad.

Una explotación marina a gran escala estaba planeada para el 2013, pero encontró oposición local. La mina (Solwara-1) está planeada a 1.600 m bajo el nivel del mar cerca de Papúa Nueva Guinea. La empresa canadiense (Nautilus Minerals) dispone de robots sumergibles para extraer minerales (rico en oro y cobre). Se trata de minería a "cielo abierto". La oposición al proyecto es de *The Ocean Foundation* que advierte sobre el impacto ambiental. La ISA (*International Seabed Authority*) emitió más de 19 licencias de prospección y están en manos de los gobiernos y los grandes contratistas (como Lockheed Martin). Esta actividad está iniciando y las regulaciones ambientales deberían estar disponibles con anterioridad.

¿Vale la pena el riesgo? Se puede argumentar que los glaciares ya están en riesgo por el calentamiento global, más allá de la minería. También es posible suponer que un buen control puede mitigar el daño, aunque no elimina los riesgos. Supóngase por un momento que "el fin justifica los medios" y que valdría la pena correr el riesgo: ¿cuál es el fin?

Para el caso del proyecto Pascua Lama la empresa minera informó que espera obtener 447 toneladas de oro. Considerando los datos del estudio de impacto ambiental cada gramo de oro requiere remover 4 toneladas de roca, se consumen 380 litros de agua, 2 litros de combustible, 43 kWh de electricidad (equivalente a un hogar medio en una semana), 1,1 kg de explosivos y 850 gr de cianuro de sodio. ¿Cuál sería la huella de carbono por un solo gramo de oro? En el mundo todo el oro disponible ocuparía un cubo de 20 metros de lado (170.000 toneladas) y la amplia mayoría se usa para atesorar y en joyas. El 85% de la producción anual de oro es para la producción de alhajas. Un par de anillos de compromiso requiere remover 10 m³ de roca. En Sudáfrica se contabiliza un minero muerto por cada tonelada de oro extraída. Este fin, ¿justifica estos medios?

La producción mundial de oro subió de 500 toneladas al año en el 1900 a 2.500 t/año en el 2000. Sin embargo, el rendimiento cayó desde 20 gramos de oro por tonelada de roca a menos de 5 gr/t en ese período. Desde el punto de vista ambiental la minería de oro y plata tienen una TRE decreciente, que solo es tolerable cuando se obvia el impacto ambiental.

La energía nuclear: limpia pero peligrosa

Energía nuclear. Una de las transiciones energéticas más notables ocurrió en Francia en el período 1970-2000. Se pasó de generar el 1% al 80% de energía eléctrica mediante fuentes nucleares. La sustitución de fuentes de carbón por nucleares permitió reducir las emisiones de carbono en el 2%. Una transición similar debería ocurrir actualmente con las fuentes limpias (solar o eólico) aunque la sustitución completa demorará décadas.

La energía nuclear se produce en 2 etapas: la primera es la rotura del núcleo de los átomos radioactivos que libera calor (fisión de Uranio-235) y la segunda es la conversión del calor en energía mecánica y eléctrica. La fusión, en cambio, consiste en obtener energía de la unión de dos átomos de hidrógeno para formar uno de helio. Esta es la energía que alimenta a las estrellas, como el sol. Ningún material sobrevive a las temperaturas de "fusión caliente" del hidrógeno, lo

cual obliga a contenerlo en un potente campo magnético. Pero se trata de un confinamiento muy inestable. Desde hace 50 años se trata de hacerlo y quizás falten décadas para lograrlo. Fue un fiasco la denominada "fusión fría" de 1989, que informaba de fusión de átomos de deuterio (isótopo de H) a temperatura cercana a la ambiente.

Accidentes en centrales nucleares. Se definió la escala INES (*International Nuclear Event Scale*) para los accidentes nucleares que varía de 0 a 7. Los más importantes accidentes en centrales nucleares en la historia son los siguientes.

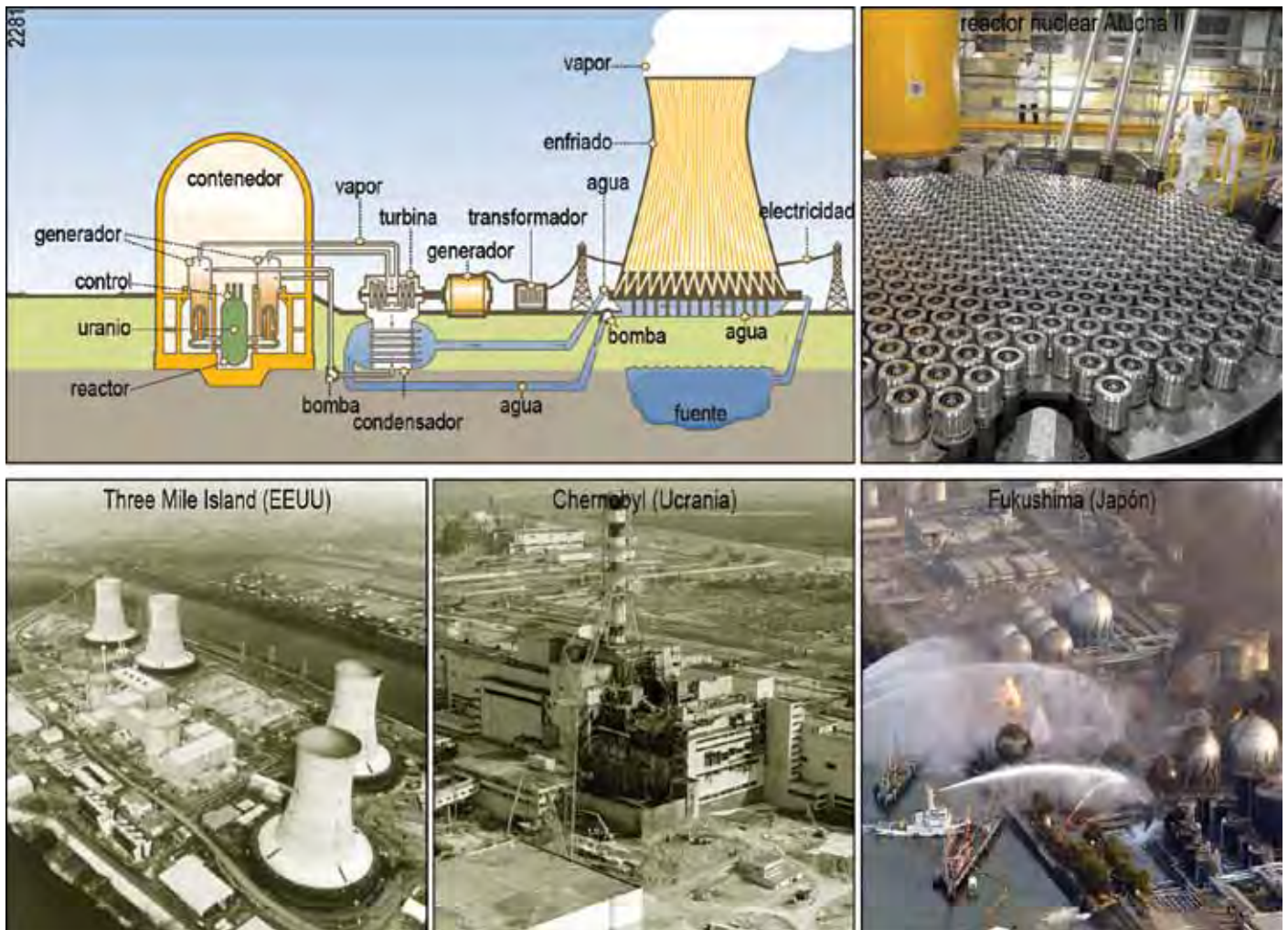
(1) Three Mile Island (Harrisburg, Estados Unidos-1979). Se produjo por la fusión parcial del núcleo del reactor. Se emitieron gases radiactivos a la atmósfera que, según la industria, no produjo daños. Sin embargo, Greenpeace sostiene que hay un aumento de casos de

cáncer en la zona de influencia. El nivel de gravedad fue de categoría 5 (radiaciones limitadas y localizadas dentro de la planta con daños graves al corazón del reactor).

(2) Chernobyl (Ucrania-1986). Llegó a la categoría 7 que es la más alta (radiaciones de gran magnitud al exterior con efectos importantes al ambiente y la salud). Se originó en pruebas de simulación de corte de energía, durante las cuales se sobrecalentó el núcleo del reactor dando lugar a la explosión del hidrógeno acumulado en el interior. El reactor se enfriaba con grafito, que se incendió como carbón y esparció residuos radiactivos por toda Europa. De las 400.000 personas que participaron en el rescate, 30.000 resultaron enfermos y 5.000 quedaron inválidos. El total de muertos por afecciones a largo plazo se calculó en 32.000. En el 2015 el reactor estaba contenido en un sarcófago de hierro y concreto con una duración limitada (30 años) y se estaba construyendo un cerramiento para seguridad a largo plazo (proyectado para 2017). El largo plazo en este tema es muy relativo. El sarcófago nuevo puede durar 50-100 años y los residuos milenios (el plutonio tiene vida media de 24.000 años). ¿Cuál es la solución definitiva?, retirar los resi-

duos nucleares y ¿dónde ponerlos?, en un depósito transitorio (no hay depósitos definitivos).

En el 2011 se publicó un estudio sobre 97 especies de aves en la zona de Chernobyl. Se encontró que la abundancia decrecía en la medida que aumentaba la radioactividad. La radioactividad afecta a la producción de melanina que, en el plumaje, otorga un color oscuro y resistencia mecánica. También los cerebros eran más pequeños. En el 2014 se informó que algunas aves se adaptaron al producir niveles altos de antioxidantes que las protegen de la radiación ionizante que afecta al ADN y la reproducción en los tejidos. La radiación original dio lugar al "bosque rojo"; una zona donde los pinos tomaron color rojizo y luego murieron. Más de 20 años después esos troncos no estaban en un ciclo de descomposición normal ya que los hongos, microorganismos e insectos también fueron afectados. Esta demora en el reciclado de la materia orgánica llega al doble de tiempo en las zonas afectadas. La radiación inhibe la descomposición microbiana de la capa superficial de la tierra, de forma que a mayor radiación corresponde mayor espesor de suelo. También se observó que la materia orgánica se acu-



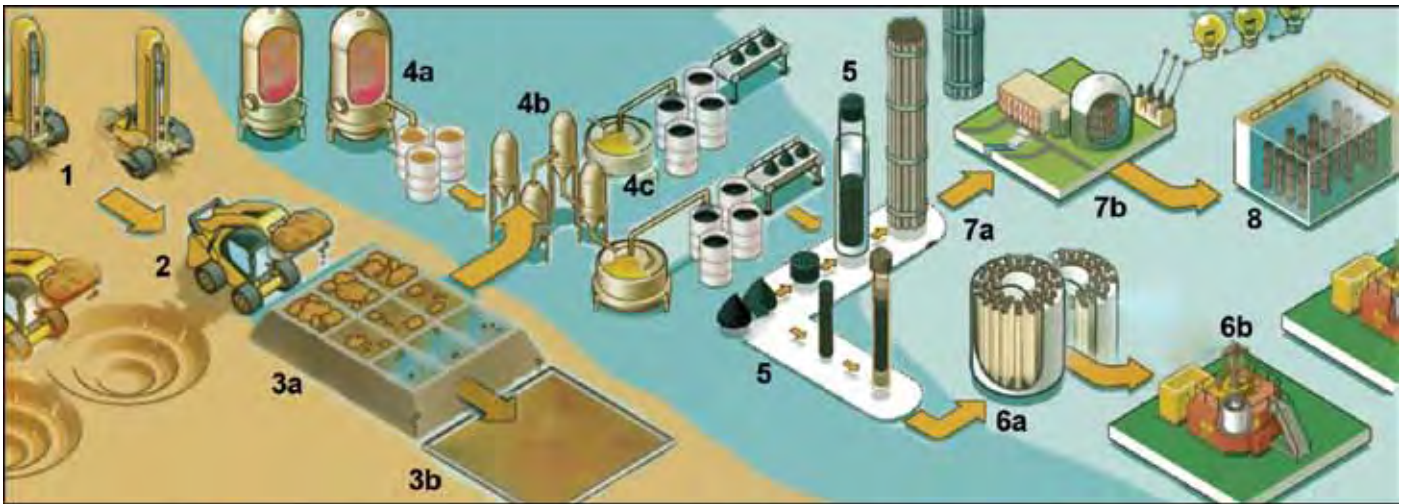
2281. Las centrales nucleares. Los componentes de una central nuclear incluyen el contenedor-reactor que calienta agua al estado de vapor y la turbina-generador que usa el vapor para producir electricidad (arriba-izquierda). Se muestra un detalle de la parte superior del reactor de Atucha II con las barras de combustible (derecha). El primer problema de la energía nuclear son los accidentes con escape de material radiactivo. Los 3 accidentes de mayor impacto fueron (abajo): Three Mile Island (Estados Unidos), Chernobyl (Ucrania) y Fukushima (Japón). El accidente de Japón se produjo al interrumpirse la energía eléctrica debido a un tsunami, lo que llevó a la pérdida de la refrigeración de las barras de combustible. Existió entonces un movimiento social que exigió cambios profundos en la política energética en Europa. Por ejemplo, en el 2010 Alemania había votado la extensión de la vida útil de 17 centrales nucleares, pero en el 2011 volvieron sobre sus pasos y votaron el cierre de todas las centrales en el 2022.

mula y aumenta el riesgo de incendios, lo cual a su vez podría esparcir contaminantes radioactivos a zonas vecinas mediante las cenizas.

(3) Fukushima (Japón-2011). Se trató de una serie de accidentes (explosiones, incendios, fusión del núcleo y liberación de radiación) que llegó a la categoría 7. La causa fue un terremoto seguido de un tsunami que superó las defensas del complejo ubicado a orillas del mar. El terremoto cambió el eje de giro del planeta en varios centímetros y aceleró la rotación en 1,8 microsegundos al día. Como resultado del tsunami parte del agua radiactiva fue vertida al mar, entre otras muchas consecuencias aún no resueltas. Las causas directas del accidente reportaron 1.600 víctimas y dos años después había otro tanto de víctimas indirectas y 50.000 desplazados del área de influencia. En el 2013 el contenido de cesio-137 radiactivo en el suelo aumentó 5 veces en los bosques cercanos, en la medida que las hojas caen de los árboles. También en Canadá y Estados Unidos (costa occidental) se detectaron niveles elevados de cesio en el agua y los peces. Se estimó que la liberación de radiación era 100 veces superior a Chernobyl. Lo

que ocurre es que esta radiación se expande lentamente en el Pacífico y en el 2020 llegará a todos los límites de ese océano, aunque con una concentración muy por debajo de los límites de seguridad.

Consecuencias de Fukushima. Japón cerró todas las plantas nucleares como medida precautoria y en el 2014 solo 2 de los 54 reactores fueron reiniciados. Para sobrevivir implementaron agresivas políticas de ahorro y un aumento del 20 al 30% en el precio de la energía eléctrica. El 89% de la energía del 2012 provenía de combustibles fósiles importados. En tanto, Alemania decidió abandonar el programa nuclear por completo debido a este accidente. Entre 2010-2013 redujo 43.000 GWh nucleares y a cambio incrementó la generación con carbón (+3,6%) y de renovables (47.000 GWh). China tenía 170 reactores en el año 2013 y Estados Unidos 104 (generan el 19% de la energía eléctrica). En Estados Unidos se observa una reducción de las centrales nucleares debido al envejecimiento de las existentes y a la falta de reemplazo. China, que se propuso reducir las emisiones en un 20% para el año 2030, decidió incrementar los reactores nucleares de



2282. El combustible y los residuos. El ciclo de combustible para centrales nucleares (arriba) incluye: (1) la exploración minera; (2) la extracción de minerales; (3) el tratado con ácidos para obtener la pasta "torta amarilla" y la formación de una cola de residuos mineros radiactivos; (4) la pasta se convierte en dióxido de uranio en varios pasos químicos; (5) se comprime el óxido de uranio en pastillas de 30 gramos; (6) se apilan 37 pastillas para obtener una barra de uranio para un reactor de investigación; (7) se produce el enriquecimiento del U_{235} al 80% para usarse en el reactor comercial; (8) luego de un año de uso las barras de combustible contienen un 6% de desechos nucleares y 94% de material recuperables. La secuencia del film "La pesadilla de los desechos nucleares" (2009) permitió observar el vertido de tanques con residuos nucleares en el Atlántico (abajo-izquierda) y 20 años después los tanques rotos y los residuos dispersos en el mar. Los residuos nucleares no tienen un destino definitivo, tal el caso del depósito de residuos radiactivos y tóxicos en una mina de sal en Salzbergwerk-Alemania (derecha).

21 en 2015 a 49 en el 2020, pasando de 19 GW a 58 GW. En el 2013, China generó el 90% de la energía eléctrica desde combustibles fósiles (67 % desde el carbón) y solo el 2% desde nuclear. Francia generó el mismo año el 73% de la energía eléctrica desde centrales nucleares.

El debate sobre la energía nuclear. Los accidentes nucleares enseñaron que un gran accidente nuclear en alguna parte, es un accidente nuclear en todas partes. Pero, la energía nuclear (junto con el carbón) es un combustible económico y fiable desde el punto de vista de la disponibilidad. En el debate confrontan 3 actores: energías fósiles (carbón, petróleo y gas); energías renovables (solar y eólica) y energía nuclear.

Quienes defienden la energía nuclear mencionan que genera cerca del 30% de toda la energía de Europa y que ayuda a reducir los gases GEI. Incluso el IPCC expone esta opinión. Estar a favor de la energía nuclear también significa poner en evidencia las limitaciones de las energías alternativas (solar y eólica), presentándose como el mal menor. El argumento funciona así: el crecimiento de la demanda debido al aumento de población y calidad de vida no podría sostenerse con energías renovables (la contribución sería pequeña). Para satisfacer la demanda se necesitará al inicio una combinación de fuentes fósiles, renovables y nucleares. Para algunos la solución a largo plazo son energías renovables respaldadas por nucleares.

Estar a favor también requiere desactivar las posibles críticas. Por ejemplo, la radiación que recibe la población desde centrales nucleares es despreciable, frente a la recibida de la propia naturaleza y de las fuentes médicas. El volumen de residuos generados es diminuto frente a otras formas de energía; además son controlables y reciclables. La energía nuclear proporciona independencia energética y disponibilidad en el suministro. La relación entre la cantidad de combustible utilizado y la energía obtenida es mucho mayor que en otras energías y se traduce en un ahorro en transportes y residuos. Siendo que requiere un combustible no renovable, se menciona que existe uranio suficiente para varios siglos, y que, con los nuevos reactores, la capacidad se multiplicaría por un factor de ocho.

Entre los ecologistas no todos son antinucleares. Los hay a favor de la energía atómica. Pero, los opositores más activos proponen detener la construcción de nuevos reactores e instalaciones nucleares; realizar un plan de abandono de la energía nuclear; e invertir masivamente en el ahorro de energía y en el desarrollo de las energías renovables. Mencionan que la energía nuclear no logró demostrar una capacidad económica y técnica para reemplazar los combustibles fósiles (solo el 6% de la producción de energía primaria mundial). Los argumentos son la seguridad y los residuos radiactivos. Greenpeace sostiene sus campañas en contra de la energía nuclear en los siguientes argumentos: la energía nuclear es insustentable e ineficaz frente al cambio climático; es peligrosa; no fue capaz de encontrar una solución satisfactoria al problema de sus residuos radioactivos; produce un impacto radiológico; perdió la batalla de la competitividad económica y posee una íntima relación con los usos militares, por lo que es impopular.

En el 2015 se publicó un extenso estudio independiente de la IAEA (*International Atomic Energy Agency*) sobre accidentes nucleares. La independencia fue necesaria porque la IAEA es a la vez controlador y sponsor de la energía nuclear y de hecho no contabiliza todos los accidentes. Se estudiaron todos los accidentes que produjeron al menos

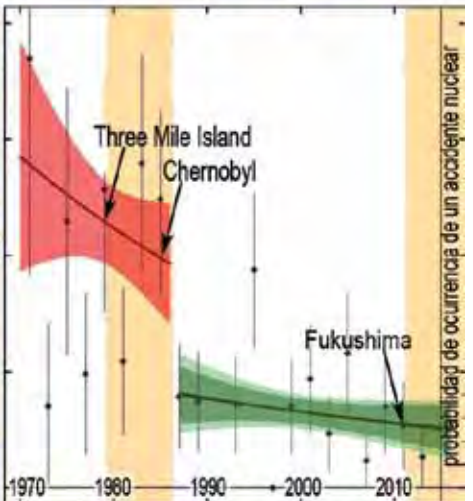
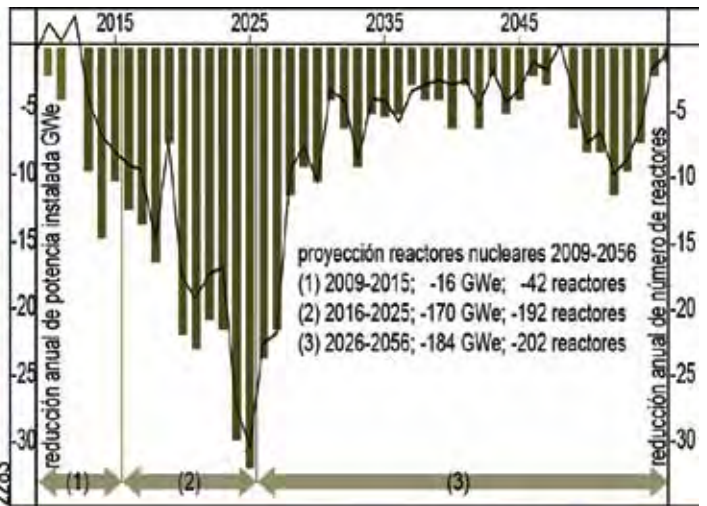
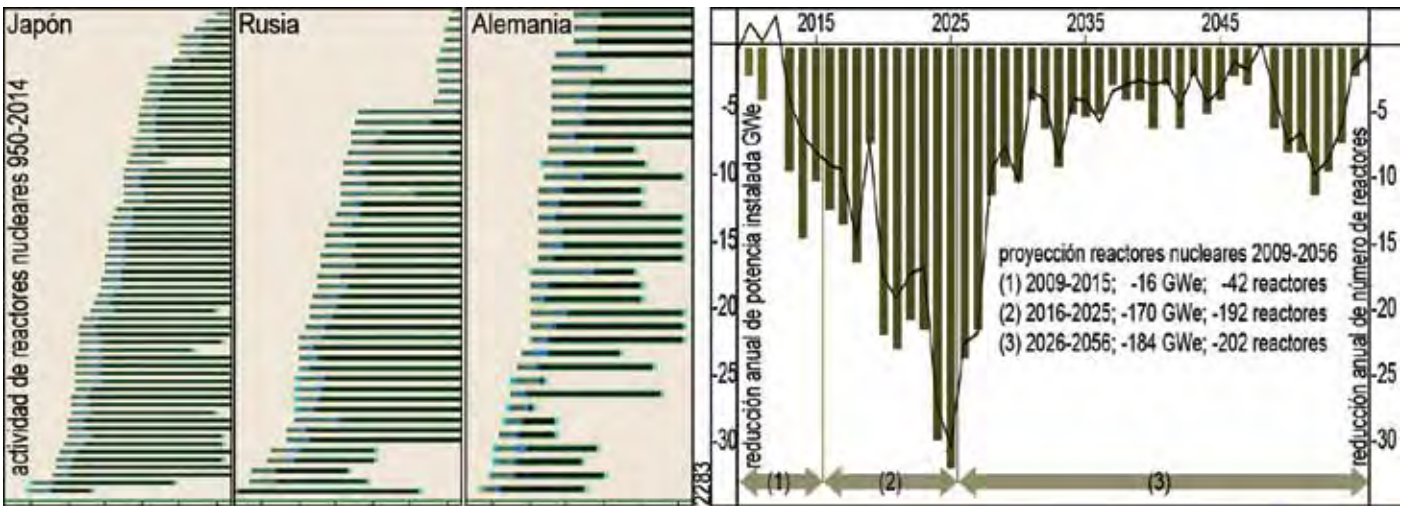
una muerte o un daño de 50.000 dólares como mínimo. Se incluyó desde la minería de uranio, la generación y transmisión. Cada vida humana se valió en 6 Mus\$ (según compañías de seguros) lo que permitió volcar todos los accidentes a un valor numérico. Por ejemplo, Fukushima fue el más caro de la historia con 166.000 Mus\$. Además, de existir en la escala INES, el accidente de Fukushima debió ser de escala 11, en lugar de 7. En Japón se creía que la energía nuclear era barata, pero no contaban con los sobrecostos de los accidentes. Los eventos contabilizados fueron 174 en total entre 1946 y 2014. Se encontró que aunque las medidas de seguridad se extremen, los accidentes debido a fenómenos no contemplados e imprevistos se mantienen. Así es que, la probabilidad al 50% que ocurra un accidente similar a Chernobyl se encuentra en los próximos 27 años y uno igual a Fukushima en 50 años. Este estudio pone en evidencia los riesgos que son subvaluados en esta industria.

Un ejemplo de peligros imponderables es el de Ucrania en el 2015. La mayoría de la población de Zaporizhia apoya la energía nuclear de la planta vecina, pero el conflicto con Rusia pone en el centro la energía post-soviética y el peligro de conflictos armados donde intervienen grupos paramilitares. Más de 3.000 barras de combustible nuclear gastado se mantienen en toneles metálicos dentro de contenedores de hormigón en un patio al aire libre de la central nuclear. Cerca del 60% de la electricidad de Ucrania es producida por 15 reactores envejecidos en 4 grandes plantas. De ellos, 12 reactores están al límite de la vida útil.

Residuos radioactivos. Los reactores nucleares generan restos radiactivos que se trasladan a vertederos o instalaciones de reciclaje. Existe una regulación específica para gestionar cada tipo de residuo en función del tipo de radiactividad y semiperíodo de vida. Esta regulación engloba todos los residuos radiactivos (desde centrales eléctricas, industrias o la medicina). Los residuos más débiles (baja y media actividad) tienen vida corta, poca radioactividad y son emisores de radiaciones beta o gamma. Suelen ser materiales de uso común (guantes, trapos, plásticos). Para procesarlos se prensan y secan, se fijan en hormigón y se colocan en bidones para almacenarlos 300-500 años. En algunas localidades se han procesado en forma similar las pilas usadas.

Los residuos de alta radioactividad tienen semiperíodo largo y producen emisores alfa que son muy nocivos. Son las barras de combustible de los reactores de fisión ya usadas. Estos residuos se almacenan en forma temporal en piscinas de la propia central; se pueden reprocesar (en pocos países) o se lo almacena en lugares que son geológicamente estables. El reprocesamiento permite la separación físico-química de los isótopos aprovechables (plutonio, uranio, cobalto y cesio). La planta de reprocesado de Japón (2006) costó 20.000 Mus\$, pero al igual que en Francia, el problema de almacenaje se traslada solo de lugar.

Para los elementos no aprovechables (neptunio o americio) se requiere el almacenamiento geológico profundo. Consiste en estabilizar las barras de combustible gastadas, colocarlas en contenedores resistentes a tratamientos muy severos, e introducirlos en localizaciones similares a minas. Deben estar en matrices geológicas estables desde hace millones de años (rocas calizas, graníticas o salinas). Hoy día, debido a los accidentes nucleares, los programas se demoraron y el confinamiento seguro casi no existe. Los residuos se acomodan en la superficie (piscinas de desactivación) y muchos se tiran al mar. Alema-



2283. Los programas nucleares. Los reactores nucleares operados por algunos países entre 1950 y 2014 (arriba-izquierda) muestran a Japón con su programa fuera de servicio en forma preventiva por el accidente de Fukushima. En cambio, Rusia tuvo un hueco de 20 años por la caída del muro de Berlín. Alemania está cerrando todas las plantas nucleares (23% del total energético). La desinversión en energía nuclear muestra un panorama de reducción progresivo hacia el futuro, tanto en número de reactores como en potencia instalada (derecha). En el 2014 eran 31 países los que operaban reactores nucleares, pero solo la mitad planean una expansión. La Argentina tiene 3 reactores en 2 emplazamientos: Atucha a 100 km de Buenos Aires y Embalse Río Tercero a 100 km de Córdoba. La provincia de Córdoba está muy nuclearizada (abajo). A la central de Río Tercero (izquierda), se suma la mina abandonada en Los Gigantes (centro) y la empresa de procesamiento de materiales nucleares en Alta Córdoba (derecha). El programa nuclear en el año 2015 incluía 2 o 3 reactores adicionales en Atucha basados en financiamiento de Rusia y China. Los riesgos de Atucha son importantes. En Chernobyl se expulsó material nuclear a la atmósfera que se propagó por Europa (abajo-izquierda). Ese diagrama se superpone con los alrededores de la central en Atucha para entender el peligro que involucra (centro). Si bien la probabilidad de accidente nuclear cada vez es menor y mejoró mucho luego de Chernobyl (derecha), es imposible garantizar una seguridad absoluta. Se calculó que un accidente similar a Chernobyl tiene una probabilidad de ocurrir al 50% antes del año 2045.

nia, debido a los reclamos del activismo antinuclear, encontró la solución pagando para enviar los residuos nucleares a Francia e Inglaterra para procesarlos.

Aunque pueda parecer una solución, los volcanes no son lugares para depositar los residuos radiactivos. Hay 26.000 toneladas almacenadas de barras de combustible de uranio en todo el planeta y se necesitan 2.865 °C para fundirlas. Pero, decenas de miles de grados más para desactivar la radioactividad. Un volcán llega a 1.316 °C como máximo. Lo que se necesita para destruir la radioactividad es una reacción termonuclear, lo cual no es una buena idea. Así que la mejor idea es enterrarlos en lugares estables.

El Reino Unido tiene 4,5 Mm³ de desechos nucleares acumulados desde la II Guerra Mundial a nivel de superficie en la planta de Sellafield, frente al Mar de Irlanda. Durante la construcción de la primera "bomba nuclear británica" se vertieron residuos radiactivos mediante tubos directamente al mar. Se estimó que está contaminado por 250 kg de plutonio depositados en los sedimentos marinos. En Sellafield se reprocesa el combustible nuclear propio y de otros países. El tecnecio-99 es el resultado del reprocesamiento del combustible nuclear, lo que facilita identificarlo en el mar. El Reino Unido tiene contratos para reprocesar combustible nuclear de otros países. Los contratos permiten retener los residuos de niveles bajos e intermedios de radioactividad y en su lugar devolver una cantidad radiológicamente equivalente de residuos con niveles altos al país de origen. Esta política de sustitución pretende ser ambientalmente neutra y acelerar la "devolución" de materiales reduciendo el número de embarques, ya que los residuos de alta radioactividad son de menor volumen. Además, es posible que el área de Sellafield se convierta en un reservorio final de material nuclear no deseado. Se proyecta el acopio de residuos en cavernas entre 200-500 m de profundidad, que no deberían considerarse "permanentes" ya que existe peligro de contaminación de aguas subterráneas. Para llegar a zonas más estables se requieren pozos de 5.000 m, que se podrían construir como grandes pozos verticales donde colocar los residuos y taparlos con roca fundida simulando la misma estructura del lugar.

En Alemania, la mina de Asse-II era un viejo yacimiento de sal de potasio que operó desde 1906 hasta 1964. En ese período se extrajeron 3,35 Mm³ del mineral de sus 151 recámaras. Desde 1967 se usó para acumular residuos radiactivos porque el gobierno aseguró que Asse era un depósito seguro para siempre. Allí se acumularon residuos que, en algunos casos tienen período de vida de 1,4 Ma (millones de años). Pero la estructura se mostró inadecuada porque la sal no resultó ser un aislante perfecto. En 1988 se detectaron filtraciones de agua desde el lecho freático y hoy ingresan 12.000 litros por día. La temperatura en las galerías a casi 750 metros bajo tierra supera los 30 °C. El problema es qué hacer con 126.000 barriles de residuos depositados en las cavernas. La solución definitiva es rescatar los barriles de residuos y llevarlos a una galería nueva, pero ¿en qué estado están los desechos y cuál es la contaminación en las cámaras?. Cuando se dice que la energía nuclear es barata, debería contemplarse el costo por miles de años para controlar los desechos nucleares. Una de las primeras soluciones fue arrojarlos en barriles sellados frente a las costas de Portugal; fueron 1.430 toneladas de basura nuclear depositadas en el océano Atlántico, hasta que se consideró que una mina de sal sería más barato.

Energía nuclear en el mar. Una propuesta es construir las centrales de energía nuclear sobre plataformas en el mar. Las ventajas

mencionadas son: menor conflictividad con las comunidades vecinas ("el océano es un inmobiliario de bajo costo"); tecnología de plataformas flotantes muy experimentadas; con más de 100 metros de profundidad los tsunamis no producen olas peligrosas (se evita Fukushima); disponibilidad de agua para el enfriamiento ("el océano es un disipador infinito"); con un reactor sumergido no se requieren bombas de enfriamiento; al fin de la vida útil se puede transportar por mar hasta un destino final de procesado como con los buques nucleares.

Una versión antigua de esta idea fue el *Sturgis*, un buque con un reactor de 10 MW que se usó para proporcionar energía desde fines de los años '60 en el Canal de Panamá. En los años '70 se planificaron 1.200 MW para la zona de la Florida pero fracasó por las dudas técnicas y reglamentarias. Rusia dispone de una central de este tipo sobre una gran barcaza (*Akademik Lomonosov*) con 2 reactores nucleares y 70 MW en total. Proyectado para el 2016, es el primero de una serie que se usará en zonas remotas como las exploraciones petroleras en el Ártico.

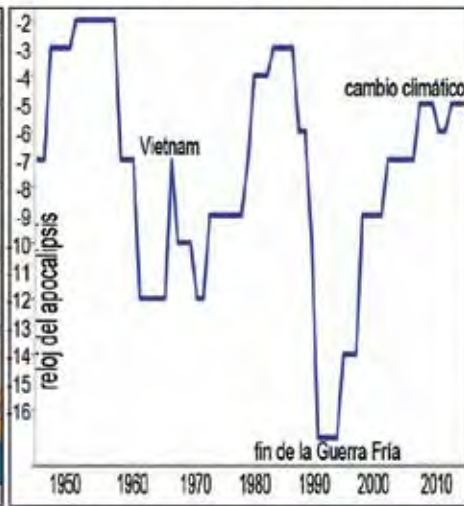
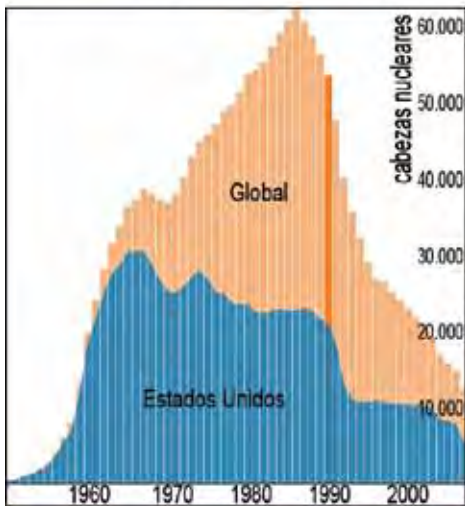
Argentina: los planes nucleares. El desarrollo nuclear en la Argentina es una herencia de los gobiernos militares y las hipótesis de conflicto bélicas de la Guerra Fría. El primer intento ocurrió entre 1948-52 en la isla Huemul del lago Nahuel Huapi. Se lo considera un proyecto pseudocientífico soportado en bases teóricas erradas. La última Dictadura Militar diseñó un ambicioso programa de energía atómica, que incluía la minería y producción del combustible, las centrales nucleares y probablemente armas nucleares (abandonado en 1983).

Gestionadas por la CNEA (Comisión Nacional de Energía Atómica, creada en 1950) al 2015 se tienen 3 centrales: Atucha-I (1974), Embalse (1984) y Atucha-II (2014); 5 reactores de investigación; una planta de agua pesada, una de enriquecimiento de uranio y otra de combustible nuclear. No hay minas de uranio económicamente rentables. Sin cifras oficiales concluyentes, el costo de Atucha-II se estimó en 6 us\$/Watt ya instalada, lo que da una de las centrales eléctricas más caras del planeta. El plan nuclear de la Argentina fue extendido por el Gobierno Nacional en 2014-15 debido a la posibilidad de financiar Atucha-III en adelante, con Rusia y China. En tanto, muchas comunidades se declararon "no nucleares" a lo largo de los años ante eventuales rumores de proyectos que los involucraban.

Al riesgo que involucra estas centrales nucleares se suma la contaminación de las minas de uranio abandonadas. En los '80 la CNEA realizó campañas de exploración en Los Gigantes (Córdoba) e identificó el yacimiento Schlagintweit (geólogo que estudió la zona en los años '60). El yacimiento está a 33 km de Villa Carlos Paz y los arroyos periféricos desembocan en el río San Antonio y éste en el lago San Roque. Desde 1982 una empresa privada extrajo uranio a cielo abierto en un área de 100 km². El trabajo consistía en fragmentar y lixiviar con ácido sulfúrico el mineral uranífero para obtener el derivado concentrado (diuranato de amonio). Éste se sometía a un proceso químico de purificación hasta transformarse en dióxido de uranio. La operación minera fabricó mesetas artificiales y una represa de 8 ha para la evaporación de los efluentes acidificados residuales. En el 1985 se admitió la contaminación química de los arroyos, con consecuencias sobre el agua y los peces del lago. Se realizaron volcamientos voluntarios desde la represa donde se trataban los residuos radiactivos y efluentes acidificados con restos de uranio, radio, radón y otros de sus descendientes tóxicos. En 1987 la CNEA anunció la detención de la explotación y se

prohibió el consumo de agua en la región. El yacimiento nunca debió iniciar la producción porque es de muy bajo contenido de uranio: unos

160 gramos de uranio por tonelada de roca, cuando la media es de 1 kg/t. Mientras funcionó se sacaron unas 200 t de uranio.



2284. La proliferación nuclear. A los países que declaran tener armas nucleares, se suman los estados de los que se sospecha las tienen (arriba-izquierda). En la Argentina, se desarrollaron vectores de lanzamiento llamados Cóndor a fines del siglo pasado, pero los trabajos fueron abandonados (derecha). El Tronador-II con objetivos espaciales se desarrolló en el siglo XXI. La cantidad de armas nucleares en el mundo es suficiente para destruir el planeta un centenar de veces (centro-izquierda), aunque están en lenta reducción pero también mejoramiento. El Reloj del Apocalipsis es una indicación del riesgo de desastre nuclear a nivel planetario. El riesgo llegó a un máximo (mínimo tiempo hasta la destrucción) en el 2015 debido a que se incluyó el cambio climático por primera vez (centro). El desierto de Nevada muestra las cicatrices de los ensayos nucleares a mediados del siglo XX (derecha) y es un recordatorio de los momentos más difíciles de nuestra civilización. Pero el peligro no pasó. Por ejemplo, un modelo de conflicto entre India y Pakistán con 100 ojivas nucleares informa que se generarían 5 Mt de humo que se propagarían a la atmósfera y en pocos días abrazarían a todo el planeta. A los 49 días se viviría en un planeta nublado en todas partes con la nube de partículas estacionada entre 12-50 km de altura.

Luego de 30 años el embalse contaminado suele desbordarse por las lluvias y derrama restos tóxicos a las vertientes del río San Antonio. Allí se encuentran abandonados 2,4 Mt de residuos radiactivos y 1,6 Mt de mineral marginal y estéril (es un basurero nuclear). En total, en la Argentina son ocho las áreas de explotación uranífera desactivadas, de las cuales solo Malargüe fue remediada. Allí se inició un lento e ineficiente trabajo de recomposición ambiental debido a una sanción a la CNEA por contaminación de las aguas superficiales y subterráneas. En el 2010 se activó el Proyecto Pramu para la remediación ambiental de las minas de uranio, pero los resultados son mínimos. La CNEA debe regularizar la situación y buscar un destino adecuado para las colas de uranio, lixiviados, lodos, estériles y minerales marginales que quedan en Los Gigantes y en los tambores de Dioxitek, procesadora de dióxido de uranio. La percepción social del riesgo es muy diferente a los científicos de la CNEA que niegan que exista un problema. El programa contempla el monitoreo de agua subterránea y superficial para evaluar la situación radiológica ambiental, pero no se entrega información que conforme a las organizaciones civiles. Un posible destino de los escombros es Sierra Pintada, pero requiere el movimiento de materiales mediante camiones. Otra posibilidad es el tratamiento in-situ.

Además están los residuos de las centrales nucleares. La empresa Dioxitek (de la CNEA) tiene en Alta Córdoba una planta de dióxido de Uranio. Allí se alojan cerca de 57.000 toneladas de material radioactivo de baja intensidad (colas de mineral de uranio) que no tienen destino definitivo. En el 2014 se informó que la planta se trasladaría a Formosa debido a las quejas de la ciudad de Córdoba.

En la década de los '80 se desactivaron las hipótesis de conflictos con Chile y Brasil con lo que cualquier programa de armas nucleares fue descartado. En la década de los '90 se desactivó también el desarrollo de un vector que podría llevar armas nucleares (Proyecto Cóndor). El Cóndor-II estaba plenamente operativo con una carga útil de 500 kg y un alcance de 890 km. El programa nuclear de la Argentina, además de las centrales nucleares para generación eléctrica, incluía el armado de un submarino con reactor nuclear. En el 2014 se probó el lanzador satelital Tronador-II para misiones espaciales de aplicaciones civiles. El T-II podría alcanzar los 600 km de altura con una carga de hasta 300 kg. El 90% de los componentes del T-II deberán ser nacionales y del resto ninguno será crítico. La plataforma de lanzamiento se encuentra en la Base Naval de Puerto Belgrano (Bahía Blanca). El programa espacial se completa con satélites de comunicaciones y meteorológicos.

La proliferación nuclear. La Guerra Fría dejó un legado muy peligroso. Por ejemplo, en la isla de Nueva Zembla (Mar de Kara en el Ártico de Rusia) se hundieron 18 submarinos nucleares retirados (al menos 3 con la carga de combustible nuclear) y 17.000 contenedores de residuos radiactivos. Los vertidos de residuos radiactivos al mar en contenedores fueron prohibidos en 1993, pero allí están las 100.000 toneladas de residuos radiactivos anteriores. El estado de estos residuos es altamente peligroso. En tierra, los alrededores de los centros de producción de armas nucleares de Estados Unidos (Hanford) y la Unión Soviética (Mayak) están altamente contaminados debido a accidentes y escapes de residuos desde los años 40. El problema está en la acumulación de una dosis baja de contaminación por muchos años. Se denunció que en La Haghe (Francia) la planta de tratamiento de residuos nucleares arrojaba al Canal de Mancha 33 millones de

barriles de 200 litros al año. Todo esto hace que la concentración de kriptón radiactivo (Kr85) en la atmósfera del hemisferio norte aumente desde los años '60.

Existe un alto riesgo de contaminación en caso de accidente o sabotaje. Ya se consideraba que las instalaciones nucleares eran vulnerables a ataques terroristas, pero más aún después del "11 de septiembre". Para mitigar este problema se requiere una elevada inversión inicial y un costo alto y prolongado en mantenimiento. Otro peligro es la proliferación de armamento nuclear pequeño, donde residuos de las centrales nucleares (plutonio-239) pueden terminar en artefactos terroristas o de naciones que buscan la bomba nuclear. La India (1974) pudo explotar su primera bomba nuclear gracias al plutonio que consiguió de Estados Unidos como técnica de reprocesado.

El daño que pueden producir las armas nucleares incluye la zona de impacto radiológico central (partículas atómicas, átomos ionizados y destello luminoso); la zona de impacto térmico (tormenta de fuego que se propaga consumiendo el oxígeno) y la zona exterior de impacto mecánico (onda de choque por diferencia térmica, incluyendo posibles movimientos sísmicos). Pero más dramático aún es la propagación de la contaminación radiactiva global (similar a las pérdidas radiactivas de Fukushima) y el invierno nuclear.

Las armas nucleares. Desde 1945, en que explotaron las primeras bombas nucleares de uranio-235 y plutonio-239, las armas nucleares son el principal peligro para la civilización. Se definen 6 generaciones de acuerdo con el grado de complejidad tecnológica. (1) La primera generación es conocida como bomba-A o atómica y trabaja por fisión-división del núcleo. (2) La segunda generación reduce el tamaño y la electrónica para colocar las bombas en misiles. En esta etapa se encuentran Corea del Norte y quizás Irán. (3) La tercera generación es una bomba de fisión pero con técnicas de isótopos de hidrógeno. En este nivel se encuentra Israel con cerca de 80 armas nucleares en el 2010. (4) La cuarta generación es el grupo de armas de fusión termonuclear o bomba-H, ya que utiliza como combustible isótopos de hidrógeno. Este sería el nivel de la India con cerca de 60 armas. (5) La quinta generación son armas más refinadas y versátiles, en la cual se encuentran Inglaterra (160) y Francia (300). (6) La sexta generación son armas muy manuales de forma que se programan antes de usarlas. Es el nivel de Estados Unidos (10.500), Rusia (14.000) y China (más de 125). Se totalizan cerca de 26.000 armas nucleares en stock, suficientes para destruir 7 veces la Tierra, y se realizaron 2.000 detonaciones hasta la fecha.

Los países con armas nucleares no quieren que exista una proliferación, pero tampoco aceptan reducir el arsenal. Desde 1968 en que se firmó el TNP (Tratado de No Proliferación), casi no se redujo el arsenal, lo que da argumentos a los países que no lo firmaron. En tanto otros tipos de bombas especiales se desarrollaron: (1) bomba de neutrones; que produce el máximo de radiación y mortalidad con un mínimo de destrucción de objetos sin vida. (2) bomba de pulso electromagnético; que explota fuera de la atmósfera y afecta a todos los sistemas electrónicos. (3) bomba radiológica; consistente en una bomba convencional que dispersa material radioactivo (bomba sucia). Las armas nucleares se usaron en la Guerra Fría como elemento de disuasión. Pero, en la medida que pueden construirse armas nucleares "sucias" por parte de agrupaciones terroristas, el peligro es mayor que antes. Otra preocupación son los estados "impredicibles" (Corea del Norte o Irán).

Con el desmembramiento de la URSS se abrió un nuevo peligro: el control del arsenal atómico y el futuro de los ingenieros nucleares rusos. Una propuesta fue reciclar el combustible nuclear de las armas de la URSS en energía eléctrica en centrales atómicas de Estados Unidos. Así entre 1995 y 2014 se procesaron un tercio de las armas de la URSS. Fueron 250 embarques por mar con material de 20.000 ojivas procesadas en 15.000 toneladas de uranio poco enriquecido que abasteció a centrales nucleares.

El invierno nuclear. En 1966 un accidente sobre la localidad española de Palomares produjo la caída de 4 bombas nucleares de Estados Unidos, en lo que es el accidente con bombas nucleares más grave que se conoce. Se trató de un choque a 10 km de altura entre un bombardero B-52 y el avión KC-135 cargado con 110 toneladas de combustible para reabastecimiento. El B-52 transportaba 4 bombas term nucleares Mark 28. Como resultado de la caída y rotura en tierra, se formó un aerosol de finas partículas que formaban parte del núcleo de las bombas. La nube se dispersó y cubrieron un área de 226 hectáreas. La contaminación resultante fue de plutonio y americio. Las operaciones de rescate retiraron 4.818 bidones con 1.400 toneladas de tierra que se llevaron a Estados Unidos. Se calcula que el 15% del plutonio en estado natural, óxidos y nitratos (3 kg), quedó esparcido en forma pulverizada y fue irrecuperable. A finales de los 80, la contaminación residual era 2.500-3.000 veces superior a la de las pruebas atómicas. Recién hacia 2015 se llegó a un acuerdo para que Estados Unidos realice una limpieza adicional ya que el plutonio restante estaba degenerando en americio (emitiendo rayos gamma). En 1968 ocurrió otro accidente similar en Groenlandia en la pista de aterrizaje que provocó un incendio y posterior explosión del B52 con 4 bombas B28. El estudio epidemiológico y la tasa de cáncer en el personal que participó en la limpieza fue el 50% superior al resto de la población.

El invierno nuclear se produciría por la nube de polvo (cenizas y hollín) que se levantarían desde las explosiones nucleares a gran es-

cala (similar al Volcán Puyehue). Esta capa se mantendría por meses interrumpiendo la llegada de luz solar y la fotosíntesis. Además, el aire sería irrespirable afectando a los animales. El resultado sería equivalente a un año sin verano. Se estima que se reduciría varios grados la temperatura global por hasta una década. Los años '60 y '70 fueron algo más fríos de lo esperado y una posible causa podrían ser las pruebas nucleares en la atmósfera. Las explosiones habrían generado óxidos de nitrógeno (NO_x) que pueden ser arrastrados a la estratósfera y producir la reflexión de la radiación solar. La idea del "invierno nuclear" es del año 1983 cuando un equipo de científicos alertó sobre las consecuencias de una guerra nuclear a nivel global. Esto llevó a la firma de tratados de desarme nuclear al fin de esa década.

Por ejemplo, una supuesta guerra entre India y Pakistán que involucre 100 ojivas nucleares similares a las usadas en Hiroshima podría tener consecuencias graves para el ambiente. Un modelo de cambio climático indica que 5 MtC de carbono negro proveniente de incendios entrarían en la atmósfera. Esto reduciría la temperatura global en 2 °C en un año, con un pico de 3 °C menos a los 5 años. Produciría una reducción de las lluvias en 9% en ese período y del 25% en la capa de ozono. Se estimó en 2 millones de muertes debido a las pérdidas de alimentos y el hambre.

El reloj del apocalipsis. Esta figura simbólica fue creada en 1947 y alerta sobre la vulnerabilidad frente a un desastre a escala planetaria. Originado en el peligro de guerra nuclear se agregó recientemente el cambio climático. En el 2015, un grupo de 17 científicos premio Nobel redujeron el reloj a 3 minutos de la medianoche. Se ha movido 18 veces en toda su historia, con un máximo en 1953 a 2 minutos del final. En 2015, los peligros son el cambio climático, la modernización global de las armas nucleares y los arsenales atómicos. Los científicos, al reducir a 3 minutos el reloj, están señalando el fracaso de los gobiernos al encarar la reducción de armas atómicas y el peligro del calentamiento global.

La energía eléctrica obtenida desde el agua

Energía hidroeléctrica. Dos líneas de trabajo permiten convertir en energía eléctrica el poder del agua. La primera recurre a acumular el agua en embalses (hidroeléctrico) como energía potencial. La segunda genera energía en tiempo real desde las fuerzas del mar. La hidroeléctrica es la fuente renovable y no contaminante que más energía produce hoy día. Sin embargo tiene dos grandes grupos de objeciones: el impacto ambiental de los embalses y de las redes de alta tensión que se usan para conectarlos a las grandes ciudades.

La energía hidroeléctrica es el resultado de convertir la energía potencial del agua (por desnivel sobre un río) en movimiento (el eje de una turbina) y luego en electricidad (mediante un generador). Normalmente se construye una represa (que genera un embalse) para acumular el agua que llega en forma discontinua desde el río (con un máximo en verano por lluvias o deshielo). De esta forma, la energía se acumula y se demora la generación eléctrica por meses o años. Las centrales hidroeléctricas se caracterizan por la potencia (desnivel entre el agua y el generador) y el caudal (cantidad de agua). La primera central hidroeléctrica del mundo

data de 1882 en el río Fox (Wisconsin). Para el 2013, la Argentina tenía instalada una potencia hidroeléctrica de 13 GW provista por 130 represas (Yacretá tiene 3,1 GW, pero es compartida con el Paraguay).

Quienes alientan este tipo de energía indican los siguientes argumentos: es un recurso renovable mediante las lluvias; no contamina con gases GEI; el embalse actúa como medio amortiguador del régimen de lluvias río arriba; ayuda a controlar las crecientes agua abajo; permite mantener el riego durante todo el año; puede ser un incentivo para el desarrollo económico mediante la explotación ribereña; los embalses pueden tener usos múltiples (turismo, pesca, acuicultura). Quienes se oponen indican que el embalse fragmenta los ríos; impacta en el ambiente reduciendo la biodiversidad; produce pérdidas culturales; acumula depósitos (sedimentos de la agricultura) y aguas contaminadas (de industrias y ciudades).

Los embalses no son particularmente importantes a la hora de evaluar las emisiones de CO_2 . Los ríos y arroyos afluentes son los encar-

gados del procesado de la materia orgánica. Los embalses emiten solo entre 50 y 300 MtC/año en todo el planeta, aunque solo el 17% de la potencialidad total de embalses está explotada. Quizás sean más perjudiciales con el metano ya que los nutrientes agrícolas producen un incremento de algas y al pudrirse en el fondo generan metano (además de CO₂). No existe información concluyente aún. Un impacto evidente de las represas es sobre el ambiente de los ríos.

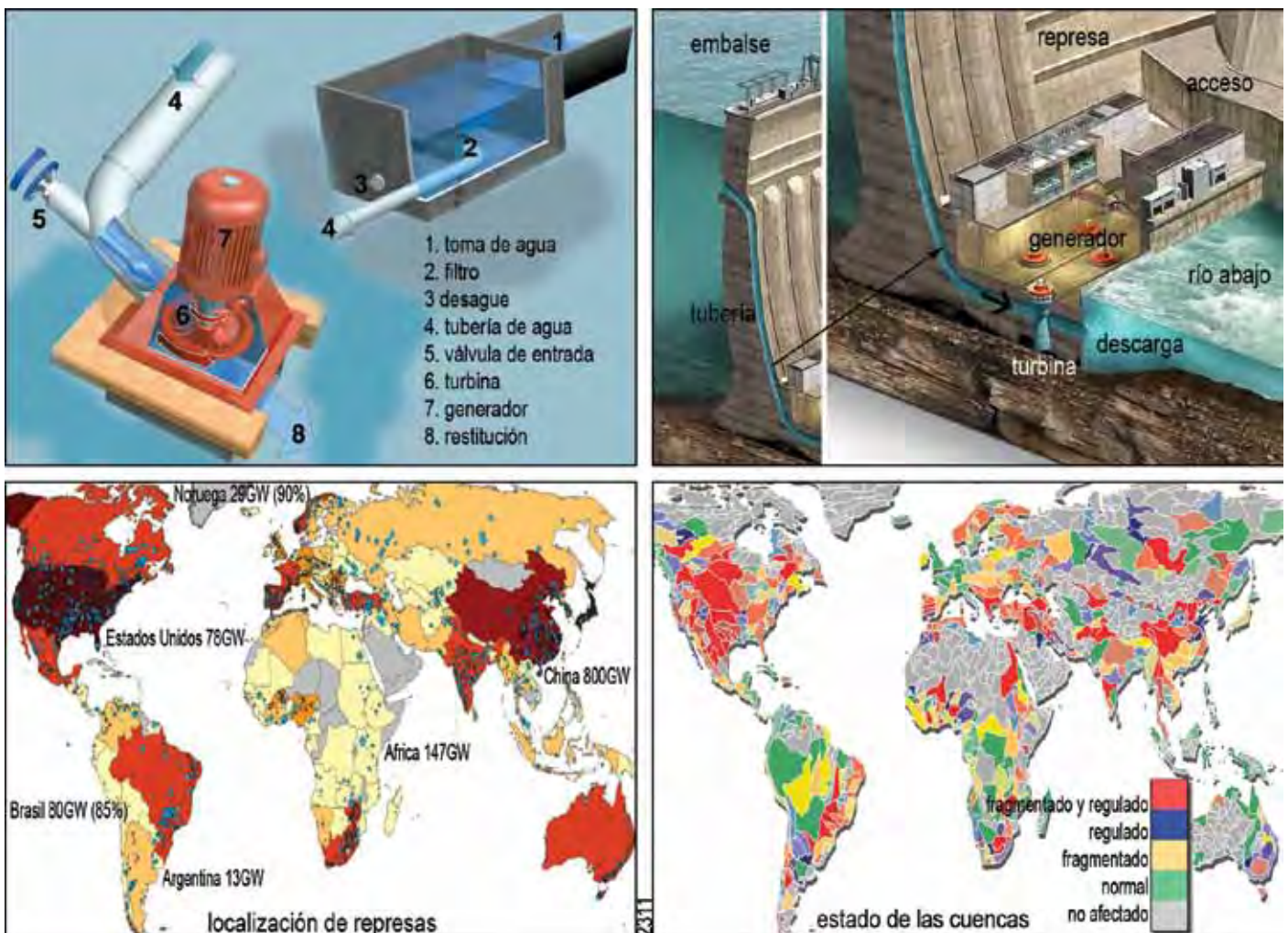
Ríos fragmentados. Las represas son un riesgo para los servicios ecosistémicos de los ríos. Los ecosistemas de agua dulce ocupan solo el 1% de la superficie de los continentes, pero son hogar para el 10% de las especies de animales. Existe la posibilidad de pérdidas naturales y culturales, afectando la navegación y migración de peces. Además, se pueden causar cambios climáticos regionales por evaporación de agua.

El principal problema es que las represas fragmentan la cuenca de los ríos. Existe una correlación directa entre la fragmentación y la calidad del agua, concentración de mercurio, sedimentación, contaminación térmica y reducción de la biodiversidad. La contaminación térmica se asocia con la actividad industrial que es causa y consecuencia de la construcción de la represa. La baja calidad del agua se correlacio-

na con la reducción de biodiversidad. Muchos servicios ecosistémicos quedan dañados por los embalses. Los humedales y deltas en los extremos de los ríos son muy resistentes a variaciones del nivel del agua. Los humedales construyen suelo y las plantas se elevan a terrenos más altos en forma gradual. Pero, la construcción de represas corta el aporte de sedimentos y nutrientes. Además, los diques y malecones que se construyen en las costas impiden a los pantanos migrar hacia tierras más altas, por lo que acaban por desaparecer.

El caso: "represas sudamericanas". A nivel global, de los 160 ríos con más de 1.000 km de longitud, solo 50 permanecen sin represas en su cauce principal. Se contabilizan 6.374 grandes represas y 3.377 planificadas hasta el año 2030. En el Paraná y Amazonas hay 666 represas. La cuenca del Plata tiene 27 represas (de un total de 130 en toda la Argentina).

En Misiones (1996) los ambientalistas lograron mediante un plebiscito (89% de rechazo) detener el proyecto de la represa Corpus Christi sobre el río Paraná en la frontera con Paraguay. De construirse la represa Corpus terminaría de convertir el río Paraná en una cadena de lagos, lo que agravaría la pérdida de biodiversidad. Por ejemplo, el dorado y pacú dependen del consumo de sábalos y éstos a su vez de-

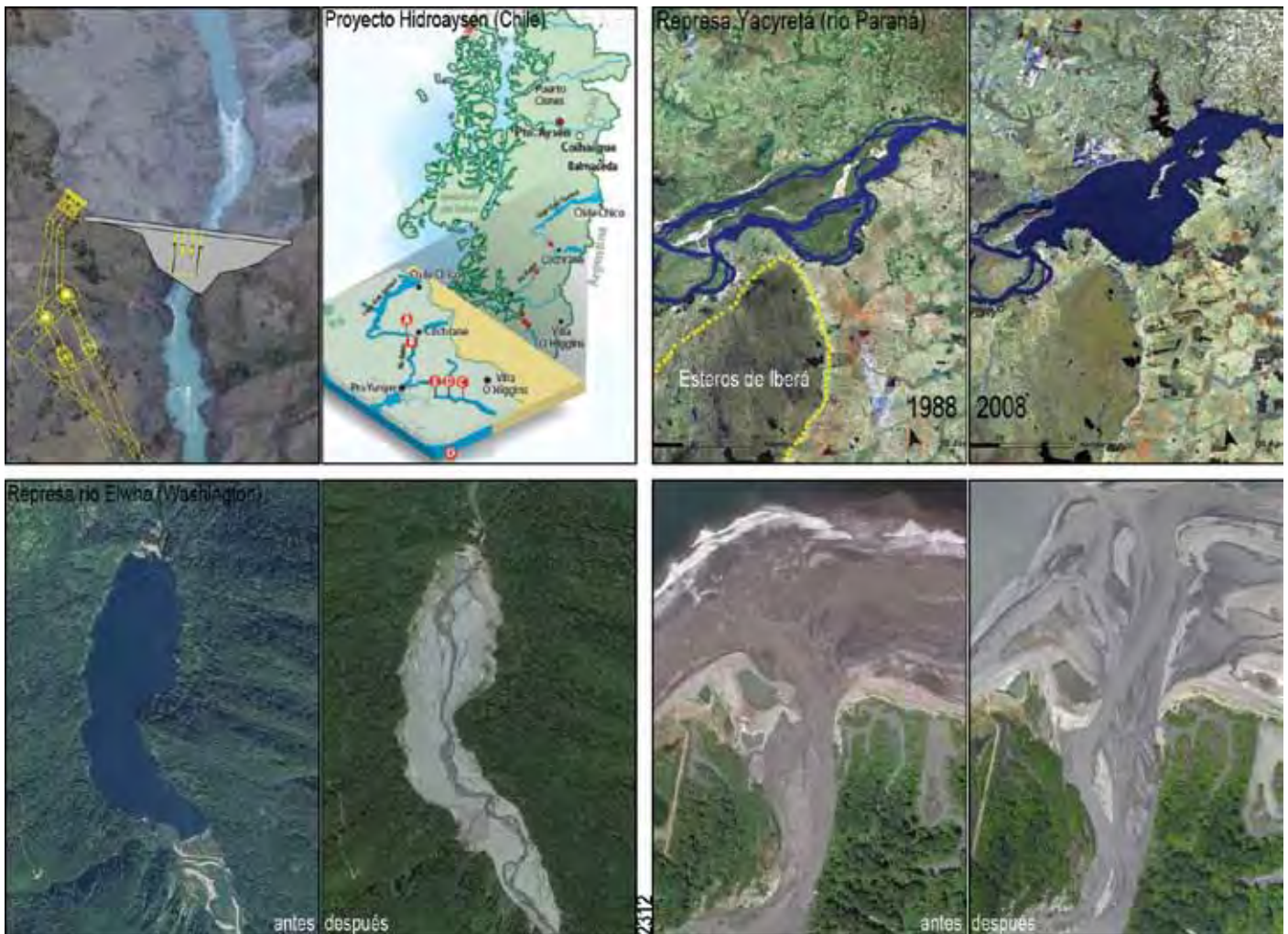


2311. Centrales hidroeléctricas. Las pequeñas centrales micro hasta 10 kW y mini hasta 10 MW son las más eficientes y con bajas objeciones ambientales (arriba-izquierda). En cambio, las grandes represas (derecha), son muy cuestionadas por varias causas. Una ventaja de la hidroelectricidad es la acumulación de agua como energía potencial a largo plazo. El mapa muestra la distribución de represas hidroeléctricas (abajo-izquierda) y las cuencas de los ríos con un color que identifica el estado ambiental (derecha) donde las más afectadas están en color rojo.

penden de las migraciones entre sectores del río. Los proyectos prevén un sistema de transferencia de peces, pero la experiencia muestra una baja utilidad. La mayoría de los peces que superan las barreras llegan débiles y son cazados por predadores. Corpus estaría entre represas que ya afectaron a las especies y el impacto sería menor. Otro problema son las pequeñas bahías locales, sin corriente y sin oleaje, aptas para la cría de caracoles y mosquitos (transmisores de enfermedades). Además anegaría sitios turísticos y arqueológicos (Saltos de Tembey, Gruta India, etc). En Cataratas de Iguazú el efecto remanso haría perder 4 m a los saltos principales, disminuyendo la pulverización del agua y sumergiendo el desembarcadero de la isla San Martín. Entre lo más temido está la migración temporal de trabajadores, la circulación de vehículos, la instalación de canteras de materiales pétreos y arcillas, el polvo ambiental y la erosión hídrica. Pero, Corpus y Yacyretá son diferentes. Yacyretá es una represa de llanura, con una extensa área inundada e impacto en el hábitat y la biodiversidad. Corpus ocuparía una zona empinada y de estrechas costas, con menor impacto ambiental. Tendría una potencia instalada similar, generaría un 6% más de energía, costaría una cuarta parte, se construiría en menor tiempo,

inundaría un 10% de superficie respecto a Yacyretá y afectaría un 90% menos de población.

Las represas de Jirau y Santo Antonio están del lado brasilero en la frontera con Bolivia. Son causantes de inundaciones en el Amazonas boliviano (Estados de Beni y Pando). En 2007, antes de la construcción, ya se había advertido del impacto ambiental. Así fue que en 2014 en Beni murieron 200.000 vacas por carecer de lugar donde pararse. En Brasil se reconoció una reducción del 50% en la pesca ya que el surubí, pacú y yatorana son peces migratorios y las represas redujeron su hábitat. Además, cuando el agua ingresa en el embalse reduce la velocidad y los sedimentos más pesados (arena) caen al fondo formando una represa adicional, que se propaga por gran distancia. Otro caso es el río Mantaro con la represa Upamayo (Perú-1932). El Perú obtiene el 60% de la electricidad desde embalses hidroeléctricos llenados por las lluvias y deshielo de los Andes. Esta represa se encuentra en una zona minera y el drenaje ha contaminado los 50 cm de sedimentos superiores del lago Junín con zinc, cobre y plomo. Hay depositadas 900.000 toneladas de zinc, lo que representa 5 años de explotación minera. El proceso



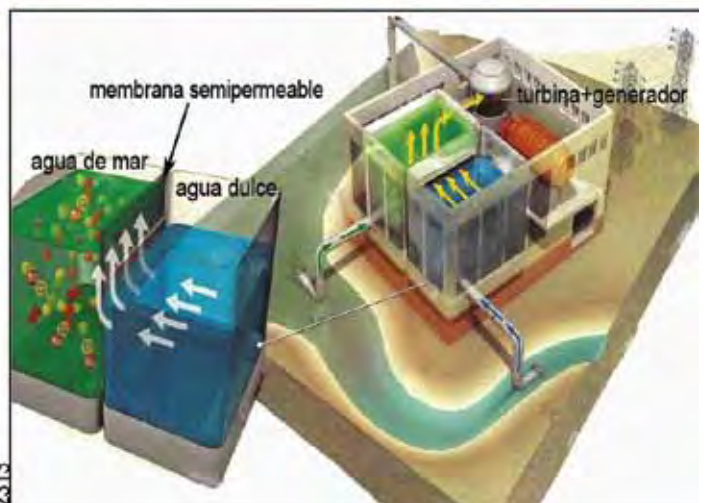
2312. Algunos cuestionamientos. Las represas producen riesgos por inundación de humedales aguas arriba y desecación aguas abajo; algunas veces se requieren más represas aguas arriba para garantizar un flujo anual; reducen las reservas de peces migratorios y causan riesgos sanitarios por las aguas estancadas. El Proyecto HidroAysén en la Patagonia chilena (arriba-izquierda) es cuestionado por la redes de transporte de energía eléctrica. La represa Yacyretá (derecha) inundó extensas zonas de islas. En un proceso inverso de eliminación de represas, se muestra el caso del río Elwha (Estado Washington-Estados Unidos). Se demolió en el 2014 (abajo-izquierda) porque fue un escollo insalvable para la migración del salmón por 100 años. Cuando se demolió dejó al descubierto un espacio casi completo de barro. En la desembocadura, el aluvión de sedimentos extendió un delta y destruyó las playas cercanas (derecha). Los abogados ambientalistas alegan que las playas tienen el "derecho de arena y agua salada" (parte de los derechos de la naturaleza) y piden mitigar los efectos debido a que se interfirió el libre movimiento de sedimentos en la costa.

de mitigación del desastre ambiental y remediación mediante extracción de los depósitos será un reto para el futuro. Sobre el río Marañón (Perú) se planifican 20 represas desde los Andes hasta el río Amazonas. Las denuncias incluyen: la muerte biológica del río; el colapso del ecosistema de la cuenca del Amazonas; la inundación de vastas áreas, desplazamiento de pueblos indígenas; destrucción de la migración de peces; aumento de emisiones de metano; detener el movimiento de sedimentos ricos en nutrientes que fertiliza los suelos río abajo. Como el destino de la electricidad será para la minería de cobre y oro, se agrega un problema adicional. Algunos indígenas encontraron trabajo en las obras y dicen estar a favor de las represas, pero parecen tener demasiado miedo. Se acusa a la empresa constructora de sabotear las reuniones de las comunidades. Los movimientos locales se oponen a las represas por la pérdida de valles a solo beneficio de las compañías mineras y señalan otros medios para generar energía, como pequeños proyectos hidroeléctricos, la energía solar y térmica.

Los embalses pueden afectar aguas arriba por la inundación. Sobre las represas proyectadas en el río Santa Cruz (Argentina) se denunció que podrían afectar a los glaciares de los Andes en el lago Argentino.

Las represas podrían llegar a levantar el nivel del lago y generar un efecto de flotación de los glaciares. La respuesta oficial fue que se harían estudios de impacto ambiental posterior a la contratación de las obras; un orden incorrecto de estudiar los proyectos de inversión. También se cuestiona la pérdida de bienes culturales y el efecto sobre la fauna del lugar. La potencia a instalar prevista es de 1.740 MW a un costo de 2,8 us\$/Watt. Pero la contabilidad debería hacerse sobre la generación real de energía, ya que es probable que el cauce del río no se mantenga a largo plazo por la reducción de lluvias y nevadas en los Andes. Otro punto cuestionable es la construcción de la red de transporte de electricidad desde el extremo sur hasta el centro del país.

Brasil tiene la segunda represa más grande, Itaipú con 14 GW y tiene planeada una tercera: Belo Monte con 11 GW. Está sobre el río Xingú en el Amazonas. Los riesgos ambientales son mayúsculos: inundación de selvas aguas arriba y desecación aguas abajo; requiere más represas aguas arriba para garantizar un flujo anual; reduciría las reservas de peces que usan las comunidades indígenas y pondría en riesgo sanitario a las tribus de la selva. En el 2013 la justicia falló a favor de las comunidades para detener las obras de construcción.



2313. Energía desde el océano. Diferentes máquinas se han diseñado (arriba) para convertir la fuerza de las olas o corrientes de agua en energía eléctrica. Se busca convertir el movimiento del agua mediante muelles mecánicos o aire comprimido que se usa para mover una turbina y un generador. Todos los implementos están en fase de prueba en instalaciones de mayor o menor escala. La energía mareomotriz (abajo-izquierda) consiste en cerrar un área (laguna de marea) mediante un muro de escollera construido por el dragado del lecho del mar con una cobertura de rocas. Las mareas diarias se aprovechan en ambos sentidos mediante turbinas hidráulicas. En todos los casos el impacto ambiental se mide en términos de efectos sobre la vida marina, sobre la recreación (playas) y la pesca comercial. La energía azul (derecha), en fase experimental, consiste en poner en contacto el agua salada con la dulce, separadas por una membrana semipermeable. La diferencia de presión osmótica se utiliza para generar electricidad.

Un problema particular es la construcción del Canal de Nicaragua de 172 km para unir los océanos Atlántico y Pacífico. Esta ruta pasa por el lago Cocibolca y las reservas naturales del Atlántico. El proyecto, que debe estar terminado en 2019, obligará a reubicar poblaciones indígenas y afectará a ecosistemas frágiles. Por este canal pasarán 5.100 barcos al año, con especies invasoras para los lagos y reservas interiores. El dragado frecuente volverá turbias las aguas y consumirá el oxígeno al revolver el fondo. Se tendrá un impacto sobre el ecoturismo y el agua potable, riego y generación eléctrica.

Las fuentes marinas. La generación eléctrica desde el mar tiene un despliegue insignificante y una gran potencialidad que se demuestra en la variedad de máquinas que se diseñan para explorar el servicio. El mar transforma la gravedad (sol y luna) y la radiación solar en movimiento y los implementos aprovechan el movimiento para generar primero energía mecánica y luego electricidad. Es una energía aleatoria que se circunscribe a zonas costeras para disponer de oleaje y redes eléctricas cercanas. Se pueden aprovechar las mareas (corriente de agua con 2 ciclos diarios), las olas (ciclos verticales de algunos segundos) o las corrientes de agua. Las olas mueven el agua verticalmente y son de corta duración y baja amplitud. Se pueden usar flotadores anclados al suelo que al ser forzados a moverse por las olas producen energía mecánica. También se puede comprimir aire mediante paletas que se mueven horizontalmente para transformarlo luego en movimiento y electricidad. La cantidad de energía que se puede obtener de las olas es proporcional al período de oscilación. Para conseguir las mejores condiciones se debe trabajar entre 40 y 100 metros de profundidad. Para el caso de las corrientes marinas se proponen generadores con aspas de forma similar a los aerogeneradores eólicos, pero sumergidos.

Una forma posible de obtener energía desde las mareas es represar el agua para crear una diferencia de altura entre ambos lados. Por ejemplo, el proyecto Tidal Lagoon Power de energía mareomotriz consiste en cerrar un área en Swansea Bay en Gales. La laguna de marea (11,5 km²) consiste en un muro de escollera de 9,5 km de largo construido mediante el dragado del lecho del mar, con una cobertura de rocas. La parte superior posee un camino transitable. Las mareas diarias (hasta 11 m de diferencia) se aprovechan en ambos sentidos mediante 16 turbinas hidráulicas (generador movido por la hélice) con 320 MW de potencia y 500 GWh de energía anual. El costo estimado es de 1.500 Mus\$ y se espera esté disponible antes del 2020. El impacto ambiental se puede medir en términos de efectos sobre la vida marina, sobre la recreación (playas) y la pesca comercial. Los beneficios que se mencionan son la generación de energía renovable por cientos de años, la recreación en la laguna y la creación de empleos.

Un caso diferente es la energía azul que se puede explotar en la desembocadura de los ríos. Se aprovecha la potencia osmótica producida por la diferencia de salinidad del agua de mar y el agua de río. La técnica recurre a membranas que separan el agua salada de la dulce y dejan pasar el agua pero retienen las sales. Esto genera una diferencia de presión que mueve una turbina. En Holanda se calculó que tienen un promedio de 3.300 m³/s de agua dulce que desembocan en el mar. Se supone un potencial energético disponible de 1 MW/m³ de agua. En Noruega (2009) se instaló la primera planta de 4 kW. Utiliza una membrana de poliamida que genera 1 W/m² de membrana trabajando con una corriente de 10 litros/segundo. El impacto ambiental está dado por la liberación en forma concentrada de la sal separada.

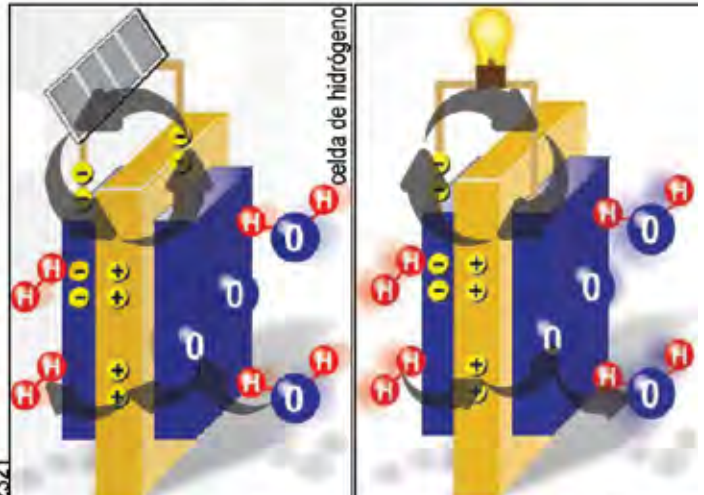
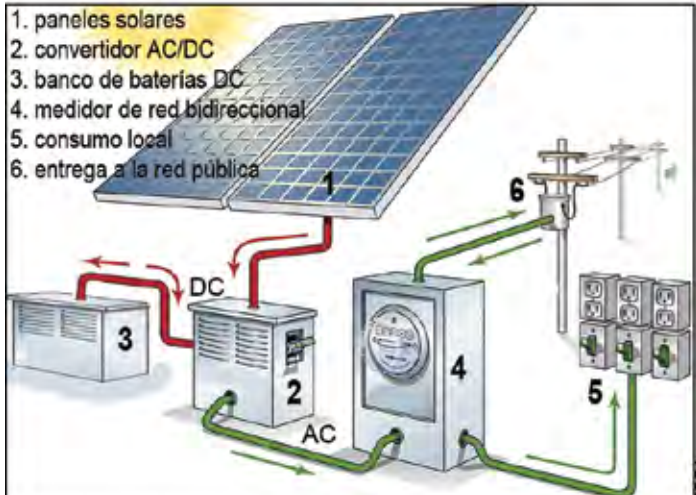
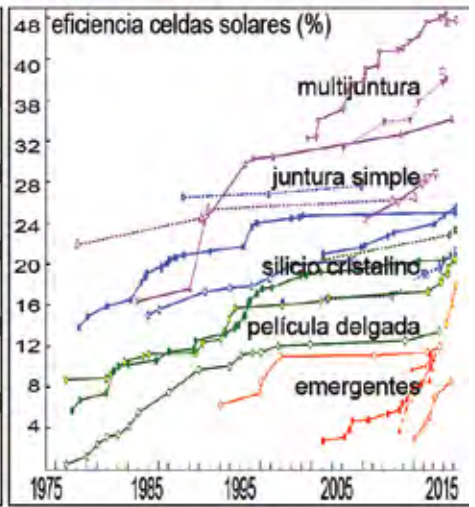
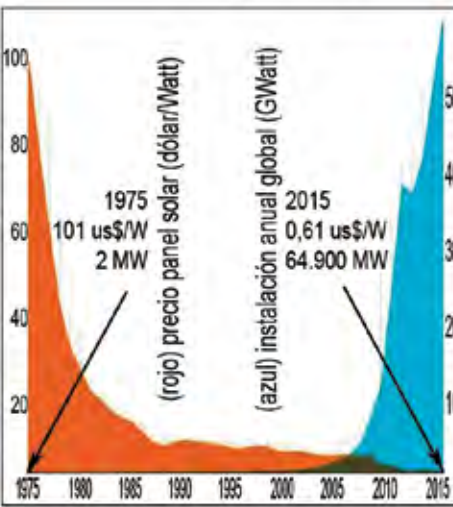
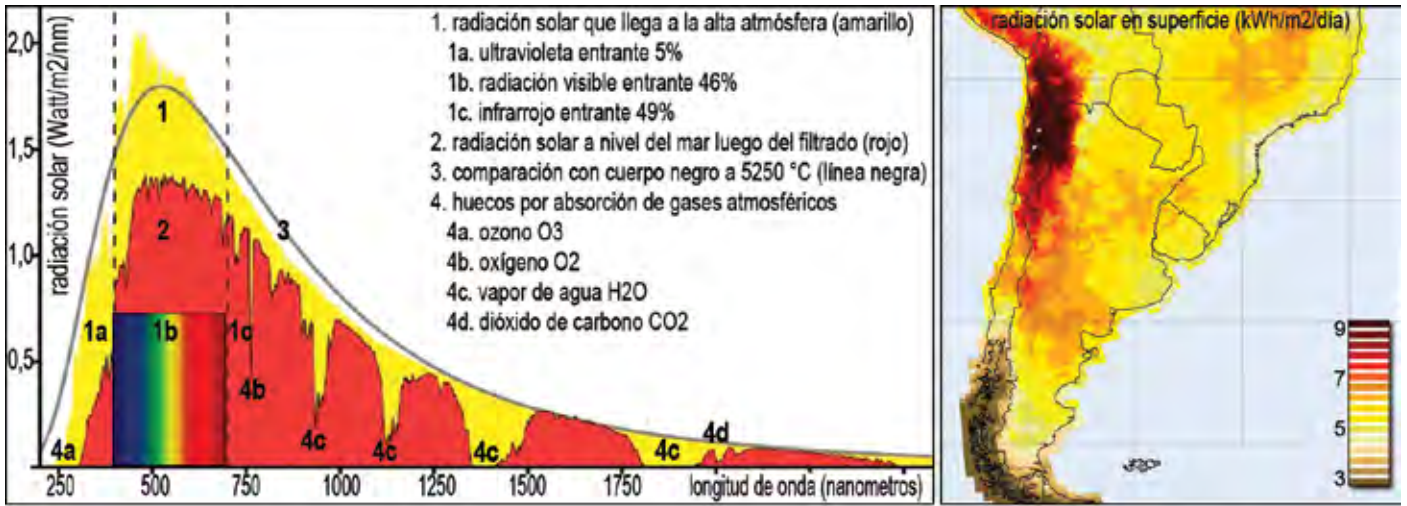
La energía eléctrica solar fotovoltaica

Reporte de situación. El sol produce energía desde una fuente nuclear por fusión de núcleos de átomos ligeros (hidrógeno y helio) para formar átomos más pesados. En la actualidad está compuesto por 73,5% de hidrógeno; 25% de helio y 1,5% de átomos más pesados. El ciclo de vida del sol lo lleva a aumentar la proporción de elementos pesados, de forma que en 5.000 Ma no dispondrá de más H y el consumo de He lo llevará al agotamiento. La energía solar que llega a la Tierra es la fuente más abundante, equivale a 6.200 veces la energía consumida en el 2008 en todo el planeta. La radiación solar tiene un máximo en la luz visible donde hay una ventana de absorción de los gases atmosféricos y el promedio es de 1 kW/m² (cielo despejado y en el cenit). El noroeste de la Argentina (desiertos andinos y Puna) es la mejor zona mundial para capturar la radiación entrante. La potencia es de 0,225 kW/m² y la energía anual llega a 2.500 kWh/m².

Toda esta disponibilidad contrasta con el dato que el 25% de la población mundial no tiene acceso a la energía eléctrica. La energía solar fotovoltaica genera electricidad en forma renovable, no contaminante y distribuida según las necesidades. Aunque se usa en grandes centrales eléctricas, resulta más interesante para el autoconsumo donde se evita la red de distribución eléctrica. La tendencia es hacia plantas más pequeñas, del orden de 20 a 80 MW. La economía de escala de las centrales de combustibles fósiles no se aplica a la energía solar.

Las pequeñas plantas solares pueden acomodarse en terrenos abandonados por mala calidad y usar redes de media tensión para la interconexión. Arabia Saudita es el líder de la producción de petróleo, pero tiene 41 GW de energía solar fotovoltaica funcionando o planificada (60% de la electricidad del país). Según Bloomberg, en el 2013 la implementación de energía fotovoltaica nueva en todo el mundo superó por primera vez a la nueva eólica (36,7 GW a 35,5 GW); y para el 2030 se espera que la energía eólica pase del 5% al 17% del total mundial y la fotovoltaica del 2% al 16%.

En el 2012 en Alemania los puntos de generación de energía eran 1,3 millones (hogares y pequeñas cooperativas) con un total del 22% de la energía eléctrica del país. Tenía 33 GW de energía solar fotovoltaica (2013) y un domingo de sol llegaban a generar el 60% del consumo. En contraste, Estados Unidos en el 2014 había 600.000 sistemas fotovoltaicos individuales, casi el doble que en 2012 y se esperaba el primer millón para el 2016. En 2013 sólo el 12% de los constructores de viviendas de Estados Unidos ofrecían paneles solares en nuevas construcciones, llegando al 50% en 2016. En los países donde se reguló, se puede aprovechar el programa de intercambio de energía con la red eléctrica pública. El "balance cero" de energía compensa el consumo eléctrico mediante el exceso en la autogeneración. Así se despliega un sistema distribuido de energía eléctrica que reduce la ne-



2321. La energía fotovoltaica. La radiación solar (arriba-izquierda) llega a la superficie de la Tierra luego de ser filtrada por los gases de la atmósfera (amarillo y rojo). Esto determina una densidad de radiación desigual con máximos en las zonas ecuatoriales y desérticas. El noroeste de la Argentina es la zona de mayor irradiación solar, cerca de 200 Watt/m² (derecha). Los implementos encargados de convertir la radiación en electricidad se llaman celdas solares (centro-izquierda) y se agrupan en paneles hasta formar grandes superficies. El costo económico de las celdas disminuye (centro) y la eficiencia de conversión de la energía solar en electricidad aumenta (derecha). El uso más difundido de la energía solar fotovoltaica es la generación de electricidad mediante paneles solares en los techos de las casas (abajo-izquierda). Sirve para generación propia y para entregar la energía excedente a la red pública. Existen muchas aplicaciones en las zonas que no disponen de red de distribución: granjas, bombeo de agua en regiones áridas, etc. En 2015 un avión solar (*Solar Impulse*) intentó el vuelo alrededor del mundo solo con celdas solares, pero el intento se detuvo a mitad de camino debido al sobrecalentamiento de las baterías. La energía solar puede ser usada para obtener hidrógeno desde el agua y usarlo luego en una celda de hidrógeno (derecha). Las celdas solares bombean los electrones que se obtienen al romper la molécula de agua (H₂O). La membrana permite el paso de protones (H⁺) y el hidrógeno se separa para ser acumulado. En el proceso inverso, el aporte de hidrógeno y oxígeno genera una corriente en sentido inverso (electricidad) y la liberación de agua como residuo.

cesidad de nuevas redes y las pérdidas por el transporte. La conexión desde el hogar a la red requiere medidas de seguridad especiales ya que cada hogar conectado se convierte en un generador de 220 Volt y que alimenta a los vecinos. Además la corriente alterna AC debe tener una frecuencia y fase igual a la red de distribución. En la Argentina, la provincia de Santa Fe fue quien primero legisló el sistema distribuido de energía renovable (2013) y siguieron Salta y San Luis (2014). La firma de servicios financieros Barclays rebajó todo el sector de la electricidad de Estados Unidos en 2014, en parte por la competencia de la energía solar distribuida y almacenamiento en baterías.

La energía solar es culpable de la crisis del carbón. Si bien la capacidad de generación eléctrica en base a carbón sigue aumentando, la tasa de crecimiento se redujo de 6,9% a 2,7% en el 2013. En 2014 y 2013 la emisión global de CO₂ se mantuvo en 32 GtCO₂ a pesar de una expansión del PBI en más del 3%. En China en 2014 la quema de carbón disminuyó en un 1,6%, aun cuando el PBI creció 7,3%. Esto es gracias a que la flota de centrales de carbón está trabajando al 54% de la capacidad instalada. Además, la nueva capacidad de renovables superó la nueva capacidad de carbón. Lo que resulta sorprendente es la rapidez con que el clima de negocios se ha vuelto contra el carbón desde 2012. Entre Estados Unidos y Europa tienen el 22% menos de la capacidad eléctrica a carbón que hace una década.

También la energía global nuclear está seriamente afectada por las energías renovables y los riesgos de accidentes nucleares y el manejo de los residuos radiactivos. La generación alcanzó su máximo en 2006 y se redujo en 14% para el 2014. En Estados Unidos la generación nuclear alcanzó su máximo en 2010. A contramano, la Argentina planea una expansión de la energía nuclear. En los países centrales la energía nuclear se está volviendo demasiado costosa por el envejecimiento. Por ejemplo, la flota mundial de energía nuclear tiene 28 años de edad, poniendo en duda si mantenerlas o cerrarlas. En el 2014, son 31 los países que operan centrales nucleares, pero apenas la mitad estaban construyendo otras nuevas.

En todo el planeta en el año 1980 se consumieron 83.000 tWh (terawattora o 10¹² Wh); llegó a 147.000 tWh en el 2009 y llegará a 198.000 tWh en el 2030. Esta es toda la energía renovable y fósil combinada. Cada hogar promedio utiliza 18 MWh/año. Como se puede generar 0,2 kW por m² con una eficiencia del 70% (días con sol) y con 8 hs al día (2.000 horas al año), se llega a 400 kWh/m²/año. Se requieren entonces 500.000 km² para alimentar con paneles solares toda la energía consumida en el planeta para el año 2030.

Las tecnologías. Las celdas solares pueden ser de diferentes tecnologías. El objetivo es aumentar la eficiencia de captura en un rango de espectro lo más amplio posible, con costos decrecientes en el tiempo y con materiales que no tengan disponibilidad crítica. Un listado reducido de tecnologías es el siguiente: (1) Celdas de silicio amorfo: fueron las primeras fabricadas y son de color gris oscuro. Funcionan con luz difusa pero con una eficiencia muy baja del 5-7% y decreciente a lo largo del tiempo. (2) Celdas de silicio monocristalino: son de un único cristal de silicio de color azul uniforme. El rendimiento es de 14-16% (hasta 24%). (3) Celdas de silicio multicristalino: son producidas como acumulación de varios cristales más pequeños. Tienen un rendimiento algo inferior (12-14%) y el color es azul no uniforme. (4) Celdas multicapa: cada una de las capas trabaja a una longitud de onda diferente y logran rendimientos muy altos (44%). Aunque son muy ca-

ras captan la misma cantidad de luz con mucha menor superficie. El material fotovoltaico puede ser el silicio amorfo; telururo de cadmio o cobre-indio-galio-seleniuro. (5) Otras alternativas se obtienen con celdas híbridas fotovoltaicas-térmicas y celdas fabricadas con tintas, de forma que se imprimen sobre papel (tienen bajo rendimiento, bajo costo y corto período de vida).

El panel fotovoltaico es una asociación de células individuales encerradas entre una lámina frontal de vidrio y una capa posterior de polímero termoplástico. Esto se enmarca en una estructura de aluminio anodizado para aumentar la resistencia y facilitar el anclaje al terreno. Estos arreglos entregan corriente continua, de forma que se necesitan inversores para generar corriente alterna. Además, es común disponer de baterías para acumular energía que se usa en momentos donde no hay sol. En proyectos grandes que requieren mayor eficiencia se recurre a estructuras que siguen el movimiento del sol, lo que aumenta la captación solar (hasta 30%). La estructura de seguimiento puede ser de dos ejes (con la superficie perpendicular al Sol) o de un eje horizontal. Los sistemas fotovoltaicos utilizan la radiación directa y la reflejada.

Algunos problemas. Aunque se trata de la tecnología renovable más apropiada, no deja de tener inconvenientes. Se consideran: la huella de carbono inicial; el costo ambiental por uso de materiales contaminantes; el impacto ambiental de los grandes sistemas. Para algunos pocos, la energía solar y eólica no es la solución y argumentan que de los 3 ámbitos energéticos (electricidad, calefacción y transporte) solo la electricidad es accesible hoy día, por lo que hablan de "transición eléctrica" en lugar de "energética".

(1) El costo ambiental. Las emisiones equivalentes de la fabricación de un panel solar son similar a los monitores planos de PC. Los materiales usados pueden tener una pesada carga de huella de carbono, así que deben ser reciclados. Inicialmente se usó gran cantidad de SF₆ (hexafluoruro de azufre) que es un gas de alto impacto en el efecto invernadero. Luego se reemplazó por NF₃ (trifluoruro de nitrógeno), aunque aún es bastante nocivo. Se puede recuperar hasta el 95% de ciertos materiales semiconductores y el vidrio, así como metales ferrosos y no ferrosos. La mayoría de los fabricantes trabajan con celdas de silicio cristalino que casi no contienen metales pesados y las soldaduras apenas usan plomo. En tanto, las celdas de TeCd (telururo de cadmio), son de bajo costo pero contienen cadmio, que es tóxico y debe ser procesado con cuidado. El fabricante (Firstsolar) asegura que es inofensivo en el compuesto empleado. Desde 2010 se celebra una conferencia en Europa que reúne a productores, recicladores e investigadores para debatir el futuro del reciclaje de los módulos fotovoltaicos. La legislación europea obliga al fabricante a hacerse cargo del proceso de reciclado.

(2) Los costos monetarios. Los avances tecnológicos y la economía de escala permiten reducir costos y aumentar la eficiencia lo que coloca a la energía fotovoltaica en inmejorables condiciones. Entre el 2001 y 2012 la producción de celdas solares se duplicó cada 2 años. Si la tendencia pudiera continuar llegaría al 10% del consumo energético mundial en el 2018 y al 100% en el 2027. Por ejemplo, la industria japonesa preparó una hoja de ruta para reducir los costos un 25% entre 2010 y 2020, junto con un incremento de eficiencia global del 5% en la misma tecnología. La eficiencia de conversión de radiación en energía eléctrica varía desde 6% (silicio amorfo) hasta 44% (celdas multiunión). Los módulos fotovoltaicos comerciales (silicio mono o policris-

talino) están entre 14-22%. En tanto, el coste de las celdas de silicio cristalino descendió desde 76 us\$/Watt en 1977 a 0,74 en 2013 (100 veces menos en 35 años). Se estima que los precios descienden un 20% cuando se duplica la capacidad de la industria. En 2011, el costo de energía solar fotovoltaica había equiparado a la energía nuclear.

Gordon Moore en 1975 predijo que en los componentes electrónicos se tendría una tasa del 46% anual más pequeños, más densos, más rápidos y más baratos. Es equivalente al doble cada 18 meses. Esta revolución fue una bendición y generó una confusión importante, ya que elevó las expectativas de progreso tecnológico. Pero el tiempo de duplicación para la densidad de transistores no es una guía para el progreso en general. El maíz mejoró los rendimientos en el 2 %/año desde 1950. La eficiencia en la generación eléctrica desde carbón aumentó 1,5 %/año en el siglo XX y 1,8 %/año para la central de ciclo combinado a gas natural. La iluminación entre 1881 y 2014 aumentó entre 2,6-3,1 %/año, medido en lúmenes por watt. La velocidad de

los viajes intercontinentales aumentó en 5,6 %/año desde 1900 a 1950, pero se mantiene constante desde entonces. Entre 1973-2014 la eficiencia de conversión en los automóviles creció al 2,5 %/año. El coste energético de acero entre 1950 y 2010 se redujo en -1,7 %/año. Entre 1975 y 2010 la eficiencia de conversión de las celdas solares aumento un 10% al año. Estos indicadores están mejorando pero muy lentamente. Fuera del mundo microchip la innovación no obedece a la ley de Moore. Aunque el costo de las celdas solares responde a un valor similar, la mejora en el costo total del sistema es mucho más lenta.

(3) El impacto ambiental. Los sistemas de autogeneración en los techos de las casas tienen un bajo impacto en el ambiente. Se suelen colocar apoyados en los techos o paredes de forma que tienen un efecto visual insignificante, incluso puede ser materia de orgullo. El mantenimiento de los paneles es relativamente bajo y algunos dolores de cabeza pueden darse por el banco de baterías necesario para estabilizar la provisión de electricidad cuando la implementación no



2322. Proyecto Topaz Solar (arriba). Esta planta solar se inauguró en 2014 con 550 MW de potencia y estimado de 1.100 GWh de energía (factor de capacidad del 23%). Las celdas son de telurio de cadmio (FirstSolar). Se encuentra dentro de un hábitat crítico con decenas de especies protegidas (p.e., rata canguro gigante y zorro de San Joaquín). Para evitar litigios se adquirió 70 km² y se declararon en conservación a perpetuidad. Topaz se diseñó para funcionar como hábitat de vida silvestre durante 35 años. Puede beneficiar a los zorros proporcionando refugio de los depredadores y lagunas pequeñas en el vallado alrededor del sitio. En otros proyectos se verificó que aves acuáticas aparecieron muertas y se especula que están confundiendo la luz polarizada que se refleja en los paneles con las lagunas donde se sumergen. **El Proyecto Nellis Solar (abajo).** Esta planta se inauguró en 2007 en Nevada (Estados Unidos) con 14 MW de potencia y 32 GWh/año de energía para la base militar vecina (aporta el 23% de la energía consumida). Ocupa 57 ha y utiliza un sistema de seguimiento solar mediante barras que interconectan los juegos de paneles solares. La empresa constructora (SunPower) vende la energía a la base militar a una cuarta parte que la empresa eléctrica tradicional (0,022 us\$/kWh), pero la provisión es sin almacenamiento para los momentos críticos. La energía entregada fluctúa entre 1 GWh en enero y 4 GWh en julio.

está conectada a la red eléctrica. El requerimiento de baterías puede ser una objeción de importancia desde el punto de vista ambiental ya que necesitan reciclarse cada 5 años. En condiciones promedio se puede obtener energía para iluminación y algunos artefactos (PC, TV), aunque resulta casi imposible abastecer a un sistema de aire acondicionado. Estos límites son los que impiden que un emplazamiento pueda liberarse totalmente de la red eléctrica pública. Para los grandes sistemas fotovoltaicos el impacto puede ser mayor en términos de uso de terreno, efectos sobre la vida silvestre y transporte de energía. Por ejemplo, la India añadió 1 GW a su red solar en el 2013. El parque de generación llegó a 2,18 GW y en el 2014 se amplió con una planta de 4 GW en Jaipur. Este emplazamiento fue criticado porque es una sola planta acompañada de una deficiente red de transporte. Sería preferible pequeñas plantas teniendo en cuenta que el 40% de la población de la India no está conectada a la energía eléctrica lo que permite desarrollar la autogeneración local.

En California, donde se proyectan innumerables parques solares, se estudiaron 161 proyectos y se aplicó un mismo algoritmo para de-

terminar el grado de compatibilidad con el ambiente. Se encontró que solo el 15% estaban en zonas compatibles. Primero se clasificó la zona en 10 categorías (desarrollada, estéril, agricultura, hábitats salvajes, etc.); se analizó la tecnología (fotovoltaica o de concentración térmica) y la proximidad a infraestructura existente o a tierras protegidas. La gran mayoría de los proyectos fueron diseñados en zona de matorral o monte bajo, que son puntos calientes de biodiversidad por la pérdida del 70% de extensión en California. La segunda área más común eran las tierras agrícolas, por lo que compiten con los alimentos. El estudio concluyó en una falta de pensamiento holístico en los proyectos solares. El modelo de estudio priorizaba las zonas ya desarrolladas o alteradas, frente a las naturales o aquellas que perturban los recursos de agua. La amplia mayoría se encontraban a menos de 10 km de zonas protegidas (demasiado cerca se considera que puede tener efectos nocivos). Se privilegió el desarrollo de energía solar a gran escala en los techos de galpones y fábricas no perturba el hábitat y no sustituyen tierras de cultivo. Además están cerca de infraestructura eléctrica. Otra buena opción es construir en tierras degradadas o contaminadas.

La energía solar térmica: calor y electricidad

En tanto la energía solar fotovoltaica convierte la radiación solar en energía eléctrica, la solar térmica convierte la radiación en calor. El elemento que absorbe calor (agua, aceite, metal) puede entregarlo luego a una turbina y generador de electricidad. También puede usarse en forma directa para agua caliente sanitaria o calefacción. Desde el punto de vista económico es más eficiente que la energía solar fotovoltaica. Los colectores se clasifican en 3 tipos genéricos: (1) colectores de baja temperatura con estructura plana y que trabajan a 60-80 °C con rendimiento de 40-65%; (2) colectores de media temperatura tubulares a 60-165 °C y con eficiencia de 60-70%; (3) colectores de alta temperatura mediante concentradores de radiación solar, trabajan cerca de los 300 °C y con eficiencia de 40-60%.

Agua caliente. Los que trabajan en baja y media temperatura son placas planas o un arreglo de tubos que sirve para calentar agua o aire. Son de uso residencial o comercial y sirven para calentar agua para baño o calefacción. Se los usa para secar productos agropecuarios calentando aire y para destilar agua en comunidades rurales. Una instalación típica tiene captadores solares, intercambiador de calor, acumuladores, vaso de expansión y tuberías. La circulación de agua puede ser mediante el efecto termosifón (con tanque de agua sobre el colector solar) o con bombas que circulan el agua al termotanque en el interior. En caso de usar termosifón la circulación de agua se produce por diferencia de temperatura entre el colector y el tanque de almacenamiento. El agua caliente se dilata, aumenta el volumen y disminuye la densidad, con lo que tiende a ir hacia arriba donde está el tanque de acumulación y empuja el agua fría hacia abajo. Para instalaciones industriales se emplean varios módulos conectados en paralelo y bombas para una circulación forzada del agua.

La clave está en el captador solar que captura la radiación y la convierten en energía térmica mediante distintas alternativas. (1) Captadores absorbentes. No tienen protección ni aislamiento, a baja

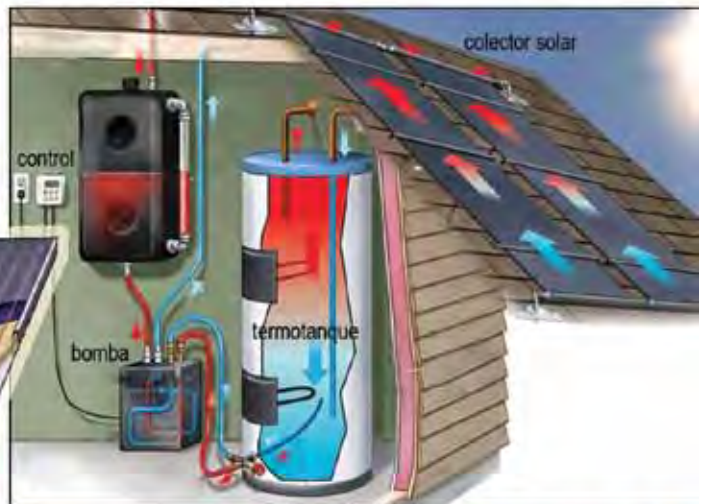
temperatura pueden congelarse. Se los hace de materiales flexibles y de color negro. Son los más económicos. El uso de placas solares térmicas (de materiales baratos como el polipropileno) es común para el calentamiento de piscinas. (2) Placas planas con cubierta de vidrio. Se los usa para agua caliente sanitaria. El vidrio protector deja pasar la radiación que calienta los tubos metálicos que transmiten el calor al líquido interior. Se complementa con un tanque de reserva para guardar el agua caliente (termotanque). En algunos equipos, una resistencia eléctrica puede ayudar a mantener el agua caliente durante la noche. (3) Tubos de vacío. Los tubos son de color oscuro para absorber la radiación. Se agrupan como tubos verticales con ingreso de agua fría por debajo y salida caliente por arriba. El vidrio protector produce un efecto invernadero que mejora el rendimiento (deja entrar la radiación UV e impide la salida de calor IR). En el interior pueden existir tubos metálicos o de vidrio con vacío como aislamiento. El rendimiento llega a ser muy alto frente a las placas planas (4 veces más de energía capturada en las horas pico). Si un tubo se avería se sustituye solo el afectado.

Un componente externo son las bombas para circulación forzada. Pueden colocarse 2 bombas que se alternan en el trabajo y sirven como reemplazo en caso de falla. Las tuberías de la instalación deben estar recubiertas de un aislante térmico. Se usaron tubos de 3 capas plástico-aluminio-plástico, más baratos y con mayor vida útil que la tubería de cobre tradicional. Algunos recomiendan el uso de cañerías de acero inoxidable aislada con espuma y rodeada de mica para aislamiento térmico. Un problema es la durabilidad por el posible congelamiento del agua interior (en climas helados).

Los equipos domésticos compactos tienen depósitos desde 100 a 300 litros y colectores de 2-3 m² de superficie. El tanque exterior puede ser un problema estético y se deteriora con el clima, por lo que se coloca dentro del edificio y se usa una bomba que reemplaza al efecto

termosifón. Se calcula que puede suministrar el 90% de las necesidades de agua caliente anual para una familia de 4 personas (con ahorro de 4,5 tCO₂). El retorno energético (tiempo para ahorrar la energía empleada en fabricar el aparato) es cercana a 1,5 años. La vida útil puede superar los 25 años, dependiendo de la calidad del agua. Los valores son muy variables dependiendo del lugar de uso.

Centrales eléctricas públicas. Los colectores de alta temperatura concentran la luz solar usando espejos. Debido a las altas pérdidas de calor, los colectores planos no alcanzan los 200 °C. La eficiencia de los motores térmicos aumenta con la temperatura (hasta 600 °C es 40%) y por eso se requiere trabajar concentrando la luz mediante espejos o lentes en un tubo con aceite. El aceite caliente pasa por



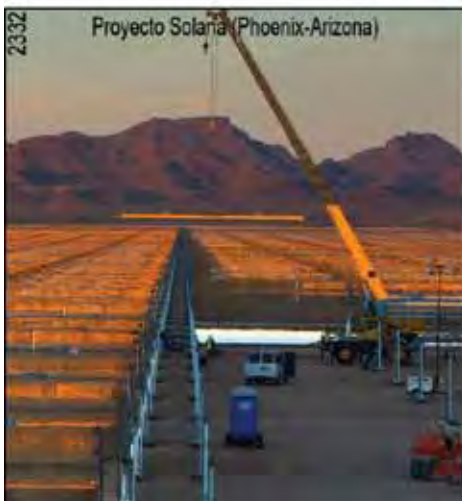
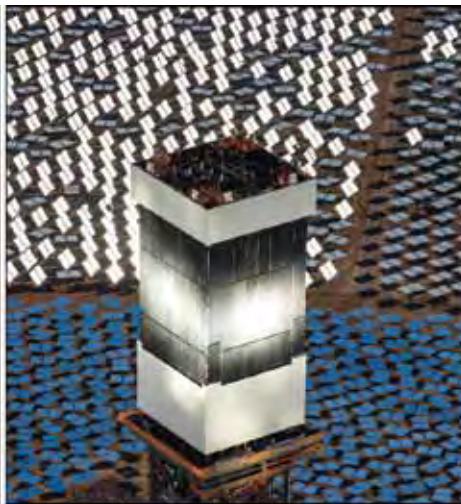
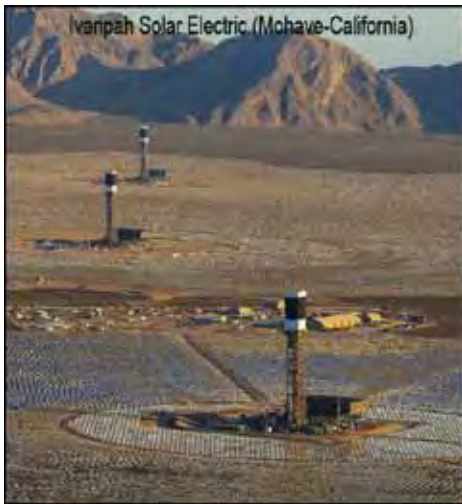
2331. Colectores solares térmicos. La versión más simple consiste en tubos de plástico por los cuales circula el agua. Producen agua caliente con baja eficiencia y reducido costo (arriba). Una versión más evolucionada consiste en placas de vidrio plano con tubos de cobre en el interior (centro). Los colectores de tubo (abajo) son de muy elevada eficiencia y tiene aplicaciones industriales. Trabajan generando un efecto invernadero interno: dejan entrar la radiación UV e impiden salir a la infrarroja. Se combinan con tanques de reserva que pueden encontrarse junto a los colectores o en el interior del edificio.

un planeta

un intercambiador que calienta agua hasta el vapor. En una turbina el vapor se transforma en movimiento del rotor. Por fin, un generador convierte el movimiento en electricidad. Para las horas sin luz solar se puede adicionar un sistema de almacenamiento del calor o bien colocar un generador de electricidad a gas.

El proyecto Ivanpah en el desierto Mohave (California) consta de 3 conjuntos de energía solar. El total de 392 MW llevó un costo de 2.200 Mus\$. Mediante 170.000 espejos dobles del tamaño de una puerta de garaje, se concentra la energía en una torre de 140 m de altura que funciona a muy alta temperatura. Los espejos se mueven manejados por una computadora. Ocupa 1.600 ha de terreno público y no prevé reservorios para acumular calor como *storage* de energía. Los proyectos de torre solar consumen gran cantidad de agua en el proceso de refrigeración por evaporación; cerca del doble que una central de petróleo. Este es un grave problema en las zonas desérticas. En Ivanpah se adoptó un sistema de refrigeración por aire (en seco) para reducir el uso de agua, pero requiere sistemas de enfriamiento más grandes para los días de excesivo calor. Esto incrementa los costos en cerca del 5%.

El impacto ambiental de Ivanpah incluye los siguientes ítems: (1) reducción de espacio para la flora del desierto; como el caso de la yucca que provee hábitat para aves, mamíferos y reptiles; (2) afecta a la tortuga del desierto, lo que obligó a reubicar 200 tortugas con un costo de 10 Mus\$; (3) las aves planeadoras son afectadas por la luz reflejada en los espejos; lo cual es válido también para aeronaves comerciales; (4) una pluma de vapor puede generar turbulencias en el aire; (5) agrega stress sobre el consumo de agua en una zona desértica. En 2014 se publicaron casos de aves que cruzaron el área y murieron quemadas por los rayos solares concentrados con temperatura superiores a 500 °C. Estas objeciones llevaron a reconsiderar futuros proyectos similares en el área. Un año luego de inaugurado solo producía el 40% de la energía estimada y se reportaron los siguientes problemas: reemplazo de equipos averiados; aprendizaje para operar una compleja mezcla de máquinas; han tenido que reparar goteras en tubos conectados a recipientes que hierven agua y lidiar con una turbina de vapor que vibra y amenaza los equipos vecinos; la planta requiere mucho más vapor de lo pensando; necesita 4 veces lo estimado de gas natural para lograr calentar la planta y



2332. El Proyecto Ivanpah (arriba). Esta planta solar llevó la instalación de 170.000 espejos que acumulan energía en 3 torres de 140 m de altura. En las torres el aceite caliente llega a 538 °C de temperatura. Entre los problemas ambientales está la muerte de aves por choque con espejos y como víctimas del calor de la luz concentrada. Se estimó en 3.500 aves al año que pierden la vida en Ivanpah. Lo cual es poco en comparación con otros implementos humanos (edificios, torres, aviones). Se estimó que los gatos domésticos matan al año unos 2,5 millones de aves. Como medida precautoria, en el 2014 se instaló un "birdbuffer" en la parte superior de una de las torres, desde donde se rocía a intervalos regulares un extracto de jugo de uva para espantar las aves. También se ensayó la emisión de sonidos grabados que simulan las llamadas de peligro. En este proyecto se sumaron problemas técnicos debido a lo nuevo de la tecnología que llevaron a reconsiderar proyectos similares. **El Proyecto Solana (abajo).** Esta planta es del tipo cilindro-parabólico, donde se concentra la luz en un tubo que lleva aceite. Todo el proyecto ocupa 770 ha para generar 280 MW a un costo cercano a 2.000 Mus\$.

que tome impulso cada mañana; el costo de electricidad es 3-5 veces más alto por kWh que una central solar fotovoltaica; los espejos de Ivanpah "quemaron" unas 3.500 aves en el año cuando vuelan en un espacio con 538 °C. Los problemas se hicieron sentir en el proyecto termosolar planeado cerca del parque nacional de Árboles de Josué que se abandonó cuando se exigió que debían reducir a la mitad el impacto ambiental del proyecto.

En Sudamérica la primera planta solar térmica estará en Chile. La minería chilena requiere energía barata y Chile tiene el desierto más apropiado para energía solar (Cerro Dominador en Atacama). La empresa Abengoa Solar ganó la licitación para implementar una torre solar de 243 m de altura y con potencia de 110 MW. Requiere 10.600 espejos y un almacenamiento de 17,5 horas en sales fundidas. Junto

con una planta solar fotovoltaica de 100 MW, se proyectó para funcionar en 2017 con una expectativa de vida de 30 años.

Un tipo diferente de central solar-térmica es el Proyecto Solanas en Arizona. Los colectores son cilindro-parabólicos con movimiento en un eje y que concentra la radiación en un tubo con aceite que llega a 370 °C. Hay 3.200 colectores de unos 100 m de largo. El aceite sintético caliente pasa por intercambiadores de calor para producir vapor que mueve las turbinas-generadores. Mediante otros intercambiadores se calientan sales para el almacenamiento térmico de energía en 12 tanques. El período de almacenamiento es de 6 horas. La planta puede generar una potencia de 280 MW y como está en una zona agrícola en el desierto fue apoyado por la organización conservacionista Sierra Club ya que consume menos agua que la agricultura. Ocupa más de 700 ha de superficie.

La energía eléctrica obtenida del viento

Una perspectiva. La energía eólica es un recurso abundante, renovable y limpio. El origen es la energía solar que si se absorbe en la atmósfera produce turbulencias de aire (1-2% de la radiación se convierte en viento) y si lo absorbe el mar se convierte en evaporación. Los generadores eólicos pueden instalarse en lugares aislados como zonas desérticas, costeras, en laderas áridas y muy empinadas. Pueden convivir con otros usos del suelo (agricultura y ganadería); su instalación es rápida; puede trabajar en conjunto con centrales hidroeléctricas; se pueden construir parques eólicos en el mar (offshore), aprovechando vientos más fuertes, constante y con menor impacto social. Incluyendo las vías de acceso, un parque eólico ocupa el 1% de la superficie total cubierta por el proyecto.

En el 2013, a nivel mundial, la energía eólica tenía una capacidad de 300 GW, unas 10 veces la generación total de energía eléctrica en la Argentina (32 GW). Abastecía cerca del 2% del consumo de electricidad mundial y crecía al ritmo del 20% anual. El mayor productor de energía eólica era China con 45 GW, de los cuales 30 GW los instaló entre el 2012-13. En Estados Unidos la producción de energía eólica fue de 4,13% del total consumido y el Estado de Iowa generó el 27,4% de la energía en forma eólica.

En Alemania se tenían 23.600 aerogeneradores, siendo parte de la solución para cumplir con el objetivo de apagón nuclear en el 2020 y abastecimiento del 80% de energía eléctrica desde fuentes renovables en el 2050. El plan de Alemania pone en riesgo los proyectos de Suiza para la energía hidroeléctrica, que no puede competir con la solar y eólica. En Suiza el 95% de las fuentes de agua se usan para generar energía. En Alemania, los proyectos en zonas montañosas y boscosas sufren una dura resistencia por razones estéticas y la energía fotovoltaica parece la solución en estos casos. El desafío es la acumulación de esta energía, donde una alternativa es convertir la electricidad en hidrógeno o metano ya que son posibles de acumular y transportar. La alternativa en Suiza y Austria es el almacenamiento mediante hidrobombeo.

Una comparación entre Alemania y Reino Unido puede ayudar a entender el desafío que enfrenta Alemania. En población son 82 y 62 millones de habitantes respectivamente. La producción de electricidad

es de 612 y 317 TWh (valores del 2012). La electricidad renovable es del 20 y 9,5. Para el 2050 Alemania tiene un objetivo de 80% de electricidad renovable; Reino Unido no tiene objetivo aún (2014). Alemania apuesta a la eficiencia y para el 2050 dice necesitar un 25% menos de energía que la actual; Reino Unido dice requerir entre el 33 y 66% más de energía. Una de las claves es la inversión en eficiencia energética domiciliar financiada por el Banco BfW (banco de fomento de la construcción) y que desde 2001 ayudó a aislar y sellar 2 millones de hogares. Otra clave es la responsabilidad de las ciudades. Por ejemplo, la aldea de Feldheim se independizó de la red eléctrica. Esta aldea agrícola alemana de 128 habitantes genera toda su energía desde paneles solares, aerogeneradores y biogás de estiércol. La mayoría de la población de Baviera invirtió en generar su propia energía y la conciencia en este aspecto es irreversible; la frase es "quiero controlar mi propia energía". El 65% de las energías renovables son propiedad de individuos y comunidades.

El uso del viento. La energía eólica es intermitente a lo largo del tiempo debido a los cambios de velocidad y dirección. El viento es una masa de aire que se desplaza desde la zona de alta presión atmosférica hacia la baja presión y la velocidad es proporcional a la diferencia de presión. La causa de tener zonas de alta y baja presión es el calentamiento no uniforme de la superficie terrestre. De día, el aire sobre las masas de agua se mantiene frío, en tanto, la superficie de tierra se calienta absorbiendo la radiación solar. El aire se expande, se hace más liviano y se eleva. El aire más frío y pesado se mueve desde los espejos de agua para ocupar el lugar dejado por el aire caliente, con lo que se genera el viento.

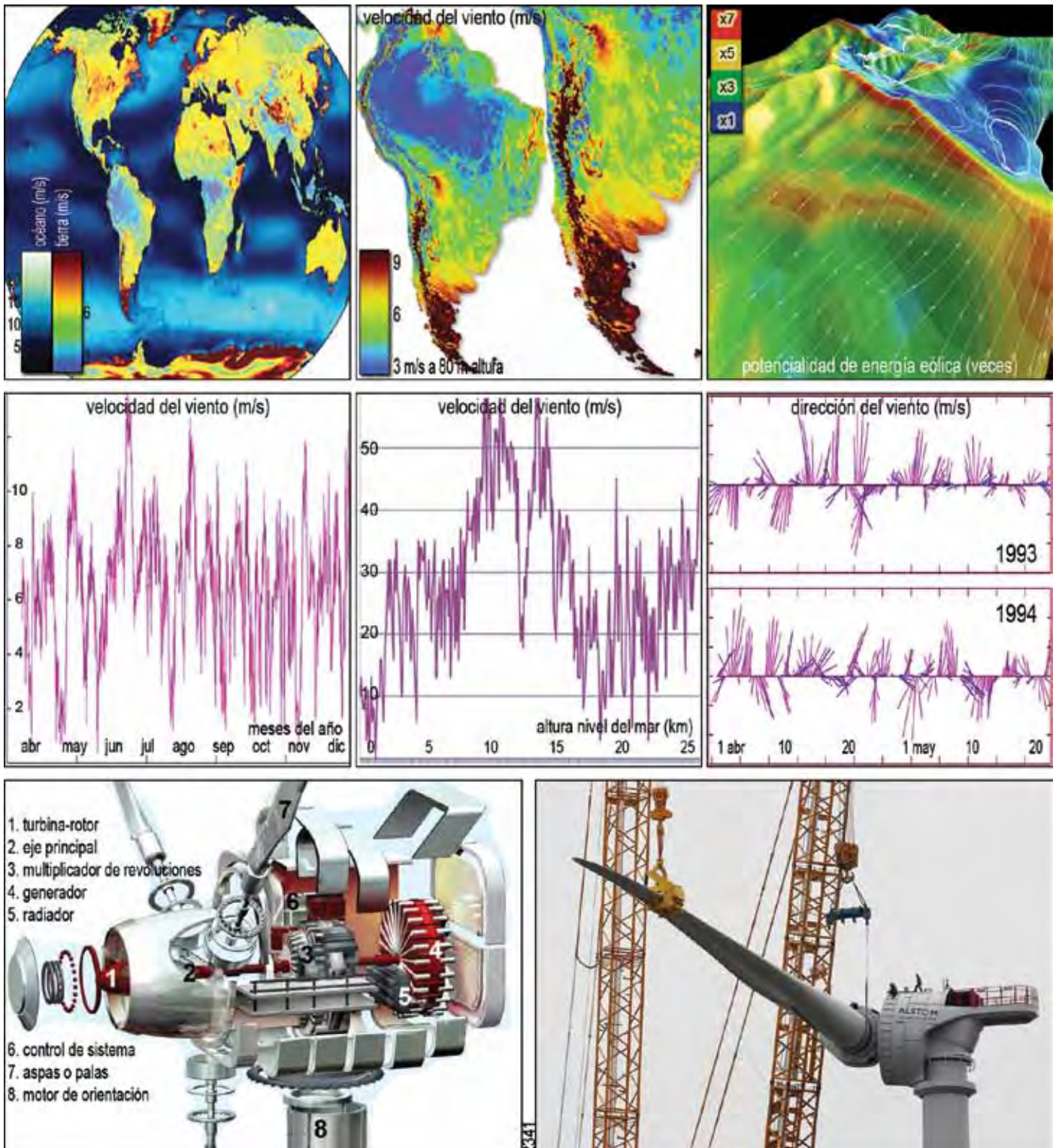
Esta energía eólica se transforma en energía eléctrica mediante aerogeneradores. Los hay de pequeño tamaño (colocados a una decena de metros de altura) para aplicaciones rurales, hasta con más de un centenar de metros para la generación eléctrica pública. Para aprovechar mejor la energía eólica es importante conocer las variaciones diarias y estacionales de los vientos; la variación de la velocidad con la altura; las ráfagas en espacios de tiempo breves y valores máximos históricos.

El rotor de 3 aspas mostró ser más estable que el de 2 y 4 aspas.

un planeta

Sin embargo, los generadores de 2 aspas son más livianos y económicos, giran más rápido, pero generan más ruido. Dentro de un parque eólico, cada generador produce una turbulencia sobre el resto. Las turbulencias disminuyen la eficiencia y afectan la duración de las

máquinas porque produce vibraciones del eje del rotor. La separación entre aerogeneradores debe ser superior a 3-5 diámetros de aspas y los efectos de las turbulencias se hacen sentir hasta 20 km fuera del parque eólico.

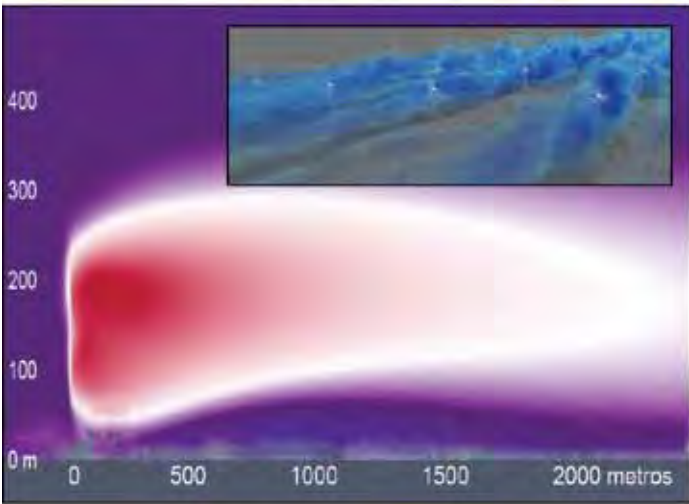


2341. Los vientos y los aerogeneradores. La velocidad del viento depende del lugar en el planeta, pero sobre los océanos son más fuertes a baja altura (arriba-izquierda). La Patagonia es el área más propicia en la Argentina para implementaciones eólicas (centro). En una zona determinada (derecha) los valles son de baja potencialidad y las cúspides son de alta potencialidad. Además de la zona y posición, los vientos tienen fluctuaciones en el tiempo a corto y largo plazo (centro-izquierda), también es dependiente de la altura sobre el terreno siendo más veloces a mayor altura (centro) y con la dirección en los ejes cardinales (derecha). Las partes fundamentales del generador eólico de gran porte (abajo-izquierda) incluye el rotor que mediante un eje llega al multiplicador de revoluciones. Este multiplicador aumenta la velocidad de giro desde el lento movimiento de las aspas hasta la necesaria para mover al generador eléctrico. Las granjas solares requieren generadores de más de un centenar de metros de altura (derecha).

un planeta

Según el fabricante Enercom, su modelo de 2,3 MW puede producir 100-150 GWh en 20 años de vida útil. Lo que representa 35 veces la energía necesaria para la producción, montaje, operación y desmontaje. Esto compensa el costo energético en 7 meses (5 meses si está colocado

en un parque eólico marino). Los costos de inversión de un generador de este tipo son de 1 us\$/W de potencia instalada. En Inglaterra había en el 2014 unas 4.200 turbinas en 531 parques eólicos que generaban 7,5% de la energía eléctrica del país. Algo interesante es que las primeras



2342. Impacto ambiental de la energía eólica. Las grandes granjas eólicas producen un fuerte impacto visual y ambiental durante la construcción (arriba-izquierda). Por ejemplo, Alta Wing era el mayor proyecto al año 2014 con más de 500 turbinas en 36 km² y 1.320 MW. Gran parte del desierto de Mohave (California) fue afectado por las obras junto con el impacto directo sobre la fauna silvestre. Los modelos computarizados (centro-izquierda) y las nubes bajas y neblina (derecha) permiten observar el efecto de la turbulencia que provoca el aerogenerador sobre el aire. Esto tiene impacto sobre el diseño de los parques eólicos, la distancia mínima de separación entre molinos, sobre la aeronavegación de pequeñas naves y sobre las aves y murciélagos. La generación de energía tiene riesgos relacionados con la posibilidad de incendios. Por ejemplo, el incendio en el techo con energía solar fotovoltaica de Apple en Mesa-Arizona (abajo-izquierda) y de un aerogenerador (derecha).

instalaciones tienen 20 años de antigüedad (1995) y trabajaban al 75% de la capacidad original, lo cual es un buen indicador de durabilidad.

Problemas energéticos. La energía eólica no puede ser utilizada como única fuente de energía eléctrica. Los aerogeneradores producen huecos de tensión porque se desconectan para evitar daños con umbrales de velocidad mínima y máxima. Para arrancar, el aerogenerador necesita una velocidad de viento mínima (3-4 m/s o 10-14 km/h) y no debe superar los (25 m/s o 90 km/h). Solo se puede aprovechar como máximo el 60% de la energía del viento (límite de Betz) y debido a las turbulencias se llega a una eficiencia del 40-50%. La máxima eficiencia se obtiene al enfrentar el aire en forma uniforme en toda la superficie del aspa. Si el viento aumenta se desconecta de la red o se cambia la inclinación de las aspas. En los pequeños se utilizan frenos que pueden ser mecánicos (cambiando la orientación de la "cola") o energéticos (colocando una resistencia eléctrica al sistema). La red eléctrica requiere un equilibrio constante entre la generación (oferta) y la carga (demanda) y aunque las pequeñas diferencias son normales, las grandes fluctuaciones afectan a los generadores y consumidores.

Para los períodos sin viento existen varias soluciones. Puede adosarse una central térmica, pero no funcionaría a su máximo rendimiento. Debe mantenerse muy por debajo del óptimo para subir la producción de electricidad cuando disminuye el viento. En este modo "respaldo", la central térmica de apoyo consume más combustible y se desgasta en exceso. Otra alternativa es colocar un sistema de acumulación que entregue lo acumulado en los momentos de déficit. Si el parque eólico está alejado de los centros urbanos (lugares naturales abiertos y apartados) se construyen líneas de alta tensión para conducir el máximo de electricidad generada. Como la tensión media será mucho más baja, se colocan cables 4 veces más gruesos y torres más altas, para poder responder a los picos de viento (se calculan al máximo de operación).

Problemas ambientales. Entre las objeciones ambientales se mencionan: la destrucción de bienes naturales durante la construcción; el efecto sobre el paisaje de los grandes aerogeneradores (impacto visual); la sombra de las astas moviéndose cuando el sol está detrás (efecto discoteca); posible interferencia con aeronaves pequeñas y los radares de vigilancia aérea; peligros para la población de aves y murciélagos; cambios en el clima en la superficie; y percepción de ruido de baja frecuencia que produce stress.

El ruido producido por las aspas contra el viento es direccional; en la base puede no sentirse pero de frente podría ser perturbador a distancias de hasta 2 km. El ruido es dependiente de la forma de las aspas y la densidad de generadores; esta modulado por la velocidad de giro y es más perceptible durante el silencio en las noches. El ruido es un infrasonido de 16 Hertz que ciertas personas pueden llegar a escuchar. En Falmouth (Massachusetts) se logró que los generadores se detuvieran durante la noche debido a las denuncias de trastornos de sueño. Pero Falmouth es un caso sobre 49 (hasta 2015), donde 48 fueron desestimados a nivel global. La mejora del diseño y la reducción de velocidad atenúan estos problemas. En Finlandia se fijó un nivel de ruido que no debe exceder los 45 dB durante el día y 40 dB en la noche. Estos límites determinan el máximo de energía que puede producir el aerogenerador.

Los parques eólicos pueden alterar levemente el clima. Durante la noche los aerogeneradores mezclan el aire y reducen el enfriamiento cerca del suelo (0,3 °C máximo). Por el momento parece un efecto in-

significante. Otro problema reportado de la zona de turbulencias es el efecto sobre aviones livianos que puede llegar a 1,5 km de distancia desde la posición del aerogenerador. Esta turbulencia también afecta a la distribución de torres dentro de un parque eólico.

México se comprometió a una reconversión eléctrica y está realizando grandes proyectos de energía eólica, que no están libres de críticas. Por ejemplo, un médico tribal zapoteca (Oaxaca) se opone a los parques eólicos porque "ponen en peligro las plantas medicinales que son esenciales en los trabajos de sanación tradicional". En general, los pueblos indígenas del sur de México protestan por el cierre de caminos y las amenazas de las empresas eléctricas; la falta de consultas previas y violación a los tratados nacionales e internacionales; la competencia por el uso de la tierra y la ausencia de puestos de trabajo para la comunidad. México planea tener 15 GW de potencia eólica para el 2020, partiendo de 2,5 GW en el 2013 (31 parques y 1.600 turbinas) y la mayoría localizada en una estrecha franja de territorio indígena.

Un problema poco evaluado es el incendio de los generadores. En el 2014 se estimó que sobre unas 200.000 turbinas instaladas en todo el planeta, se produjeron 117 incendios. La industria de petróleo y gas tienen muchos más incendios. La pérdida de una turbina llega a 3 Mus\$. Una vez encendido el fuego es imposible apagarlo por el viento y la altura. Las causas de la ignición son los rayos y fallas mecánicas o eléctricas. Los rayos han obligado a cerrar algunos parques eólicos por los daños. Como beneficio, en Dinamarca se reportó un aumento de la fauna marina en el entorno de los parques eólicos en el Mar del Norte. Se debe a la protección del área que impide la pesca y a uso de rocas para contener el oleaje (arrecifes artificiales) que ofrece protección a la vida.

Aves y murciélagos. Una consecuencia muy importante es el daño sobre la población de aves (especialmente en las migratorias o planeadoras) y murciélagos (los afecta aun sin golpearlos). En Estados Unidos se calculó que en el 2012 murieron 570.000 aves (83.000 rapaces) y 880.000 murciélagos (*Wildlife Society Bulletin*). Con 51,6 GW instalados de energía eólica equivale a 11 aves/MW/año. En Canadá un estudio indica 8 muertes anuales de aves por cada aerogenerador (*Journal Avian Conservation & Ecology*). En Estados Unidos el mismo valor se estimó en 19; en España la Birdlife dijo 100-300; antes se habían calculado en 309 en Alemania y 895 en Suecia. Como siempre hay grandes variaciones de acuerdo con el origen de la investigación, produciendo valores controvertibles.

En los tribunales en Wyoming la empresa Duke Energy fue multada con 1 Mus\$ en el año 2013. La razón fue la muerte de 14 águilas reales y 149 aves protegidas, sin haber implementado sistemas de protección. Posteriormente, la empresa informó que instaló sistemas de radar para detectar las aves planeadoras y detener las turbinas. Además de los aerogeneradores, en Estados Unidos y Canadá hay 84.000 torres de comunicaciones que cuestan la vida a 7 millones de aves (datos del 2012). El 70% de estas aves son muertas en torres de más de 300 metros de altura, que son solo el 1,6% del total. La verdadera causa son los cables de soporte de las torres que resultan casi invisibles durante las migraciones nocturnas.

En los murciélagos la diferencia de presión en los extremos de las aspas produce que se dilaten los pulmones y revienten los vasos sanguíneos (equivalente a los buceadores de profundidad cuando salen a la superficie). Es un problema que no deja marcas y recién se descubrió en

el 2008. La preocupación por aves y murciélagos no es solo por la vida silvestre, es también un daño económico. Los murciélagos son eficientes insecticidas naturales que consumen 3.000 insectos por noche. Como una turbina eólica puede matar en promedio 25 murciélagos por año, es como aumentar en 17 millones la población de insectos. Se trata de un costo cruzado con la agricultura que deberá utilizar insecticidas.

Un aspecto diferente ocurre en Alemania. Se encontró que muchos murciélagos muertos son migratorios y existe una responsabilidad directa del país en proteger a los animales migratorios. Se sabe el origen de los murciélagos por la "huella geográfica" dada por la proporción de hidrógeno-deuterio en el pelo. La región sur de Europa, es más cálida y la proporción de deuterio es mayor. El deuterio absorbido, termina en el pelo que dura varios meses. Los aerogeneradores alemanes matan más de 200.000 murciélagos al año y tienen una tasa de reproducción baja (1 o 2 crías al año) por lo que el efecto sobre la población puede ser muy importante. Una de las soluciones es aprovechar que los murciélagos no aceptan el viento por encima de 6-8 m/s y están más activos de noche. Los aerogeneradores deben apagarse en estas condiciones.

Una coartada. Para dar un contexto, es bueno decir que los datos

de muertes de aves por aerogeneradores son bajos comparados con otras causas. En Estados Unidos se estimó entre 400 y 1.000 millones las aves que mueren al año pegando contra artefactos humanos, lo que corresponde al 2-10% de las aves en el país. En Canadá (2013) estimaron que los gatos matan 200 millones de aves al año; mientras mueren por atropellos de autos 32 millones de aves y por colisiones con edificios 22 millones. En Brasil se calculó que mueren al año 475 millones de animales atropellados en las rutas. El 90% son animales pequeños (aves, roedores, anfibios), pero el 1% son mamíferos grandes (carpinchos, zorros, felinos), lo que significa 5 millones de casos. Una aplicación de celular permite enviar una foto y registrar con el GPS la posición de cada evento. En Esteros de Iberá (Corrientes), un centenar de carpinchos mueren al año atropellados en la ruta de acceso que es de tierra. El carácter confiado del carpincho lo convierte en una víctima fácil.

No está en duda si la energía eólica debe prosperar, sino cómo se debe proceder. Los estudios de impacto ambiental para un parque eólico debe tener en cuenta la situación ornitológica y de murciélagos de la zona. Los aerogeneradores actuales son de baja velocidad de rotación con lo que reduce la posibilidad de impacto y en muchos casos



2343. Las construcciones humanas y la vida silvestre. Los aerogeneradores son una trampa mortal para las aves planeadoras (arriba-izquierda) y los murciélagos (centro). Las torres de comunicaciones producen la muerte de aves migratorias que se concentran en la región sudeste de Estados Unidos (derecha). La organización Flap (*Fatal Light Awareness Program*) recogió las aves muertas por choques con edificios en el centro de Toronto-Canadá (abajo-izquierda) y los geo-codificó en un mapa (derecha). Tienen una estimación de 1-10 aves por edificio al año, que serían 100 a 1.000 millones de aves en toda Norteamérica. Durante el día el reflejo del vidrio puede engañar a las aves y por la noche las luces las atraen. Además las aves miran hacia abajo, por lo que no detectan bien los objetos que están delante y colisionan con antenas y aerogeneradores.

se están implementando sonidos que espantan a los murciélagos. Parece natural que no existan fuentes de energía sin impacto ambiental, sin embargo, debería aplicarse el Principio de Precaución. Así como se pide para otras tecnologías (transgénicos, energía nuclear), este principio obliga a la "inversión de la prueba", demostrando que no se produce daño y absteniéndose del uso hasta demostrarlo. Las energías "verdes" renovables y no contaminantes son "toleradas" en sus riesgos debido a la enorme desproporción de daños con respecto a los combustibles fósiles.

Argentina: poco renovable. El más importante recurso eólico está en la Patagonia con experiencias de aplicaciones rurales y pequeñas cooperativas eléctricas. La dirección, constancia y velocidad del viento son tres variables que presentan un máximo en forma casi simultánea, conformando a Patagonia en una de las regiones de mayor potencial eólico del planeta. El promedio del viento es de 9 m/s. La costa sur de la provincia de Buenos Aires tiene una calidad de viento similar y no tiene los problemas de interconexión de la red eléctrica de la Patagonia. El potencial offshore también es muy importante.

Sin embargo, las implementaciones son insignificantes. La Ley Nacional 25.019 (Régimen Nacional de Energía Eólica y Solar) declara de interés nacional a la generación eólica y solar en todo el territorio. Establecía un piso del 8% del consumo de energía eléctrica debe provenir de fuentes renovables hacia finales de 2016. El régimen ofreció subsidios por MWh generado y una serie de beneficios fiscales como devolución anticipada de IVA y amortización acelerada de bienes y obras. En 2010, la empresa estatal Enarsa generó el programa Genren y aprobó 32 iniciativas para 900 MW por 2.000 Mus\$ en total. Cuatro años más tarde solo el 24% estaba terminado o en construcción. Por ejemplo, Isolux de 200 MW concretó 50 MW en Loma Blanca (Chubut); Impsa llegó al 50% de lo previsto (150 MW); Engasud de 180 MW concretó 80 MW. Otras firmas, con un total de 219 MW, no hicieron nada. Las explicaciones remiten a la macroeconomía, imposibilidad de conseguir créditos internacionales, "cepo al dólar", etc. Se sabe que muchos proyectos no tienen financiación previa y que se presentan para, una vez aprobados, salir a buscar inversores. Esta estrategia falló.

La energía geotérmica: calor y electricidad

La geotermia. La capa superficial de la corteza terrestre tiene un aumento de temperatura de 2-5 °C por cada 100 metros de profundidad (gradiente geotérmico). Cuanto mayor es el gradiente, debido a la presencia de magma más cercano a la superficie, mayor es el provecho geotérmico. En condiciones óptimas se llega a tener un gradiente de 100 °C en 100 metros. Para sacar provecho se inyecta agua fría por un ducto y se extrae agua caliente por otro ducto paralelo. El agua se puede usar en aplicaciones desde calefacción hasta centrales térmicas para generar electricidad. Hace 10.000 años ya se usaba el agua termal en Japón y Norteamérica. Pero recién en 1827 se comenzó a usar vapor de geiser para extraer ácido bórico en Italia. En el mismo lugar en 1911 se construyó la primera central eléctrica geotermal (250 kW) y para 1920 el ferrocarril de la Toscana dejó de usar carbón y se electrificó.

La geotermia convencional requiere varias características coincidentes en cuanto a tipo de roca, temperatura y disponibilidad de agua. La aplicación del agua geotermal depende de la temperatura que se obtiene. Hasta 40 °C se puede usar para templar el agua (acuicultura); en el margen de 40-100 °C se utiliza para agricultura, calefacción y fermentación; en 100-180 °C la industria utiliza el vapor saturado en lugar del agua caliente y por encima de 180 °C se puede usar el vapor para la generación eléctrica. En condiciones normales se requiere una profundidad de 2,5-4 km para lograr esta temperatura, por eso es que las zonas apropiadas son muy pocas.

Los peligros. La energía geotérmica es autónoma, tiene bajo impacto visual y utiliza una tecnología conocida. Es renovable; genera pocos GEI (la sexta parte de CO₂/kW respecto de una central a gas) y es silenciosa. Sin embargo, solo está disponible en algunos pocos lugares (en general remotos); no se puede transportar (solo como energía eléctrica); pueden existir escapes de gases peligrosos (sulfuro de hidrógeno); el agua que se extrae a la superficie puede contener sales disueltas y metales pesados; puede contaminar las aguas superficiales

con arsénico y amoníaco; puede generar hundimientos del terreno o actividad sísmica de baja intensidad.

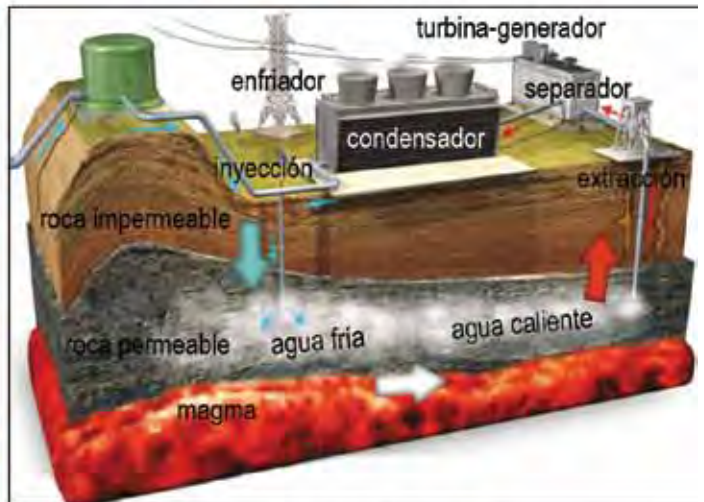
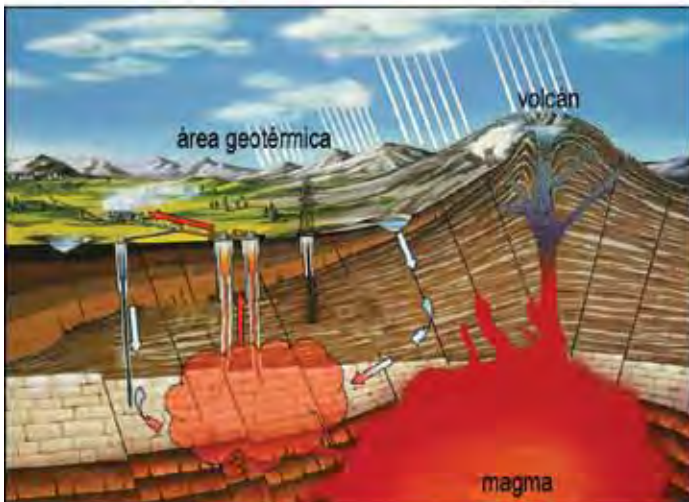
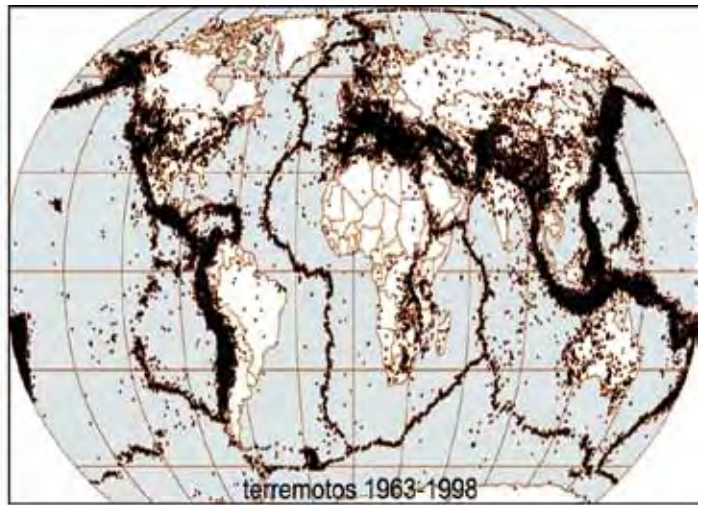
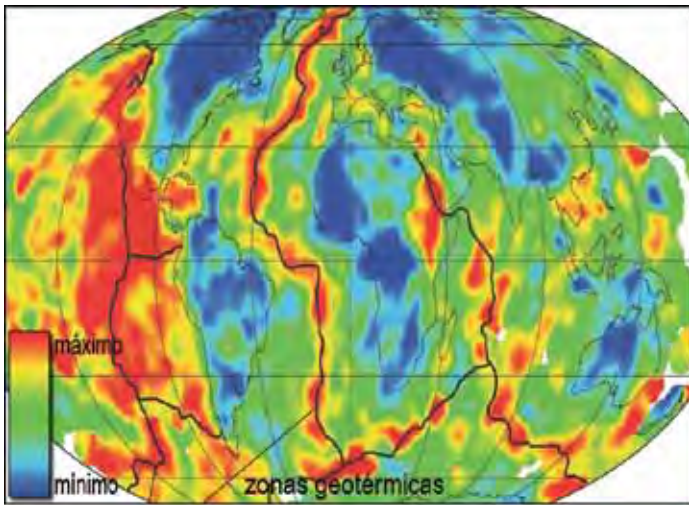
Para considerarse una fuente de bajo impacto ambiental, no debe extraerse más agua de la que se inyecta; no debe transportarse el agua caliente fuera del campo geotermal y deben tratarse las aguas que se liberan para evitar contaminantes nocivos. Entre los problemas prácticos se encontró que algunas veces el agua fluye muy rápido y no llega a calentarse. En otras el agua fluye por huecos desconocidos y no vuelve a aparecer. Un caso similar se tiene inyectando CO₂ en lugar de agua, con la ventaja que el CO₂ que se pierde en la roca constituye un beneficio secundario a la generación eléctrica. Un proyecto geotérmico en Alsacia (Francia) tuvo muchas dificultades y tardó 20 años en lograr 1,5 MW. Se estimó que usando CO₂ en lugar de agua se lograría un 50% más de energía. Esto ocurre porque el CO₂ se mueve en la roca más rápido que el agua y tiene una tendencia a subir a la superficie lo que reduce el esfuerzo de las bombas para levantar el agua caliente. Las turbinas de gas son también más eficientes que las de agua.

En algunos casos se propuso usar la tecnología de fracturación hidráulica para fracturar las rocas calientes y permitir el paso del agua que alimentaría a centrales geotérmicas. En el 2007 se suspendió la construcción de una central geotérmica en Basilea (Suiza). La zona geotérmica se encuentra a 5.000 m de profundidad y se inyectó agua a presión para fracturar la roca y luego extraerla caliente. El resultado fueron terremotos de baja magnitud que llevaron a la detención de las obras.

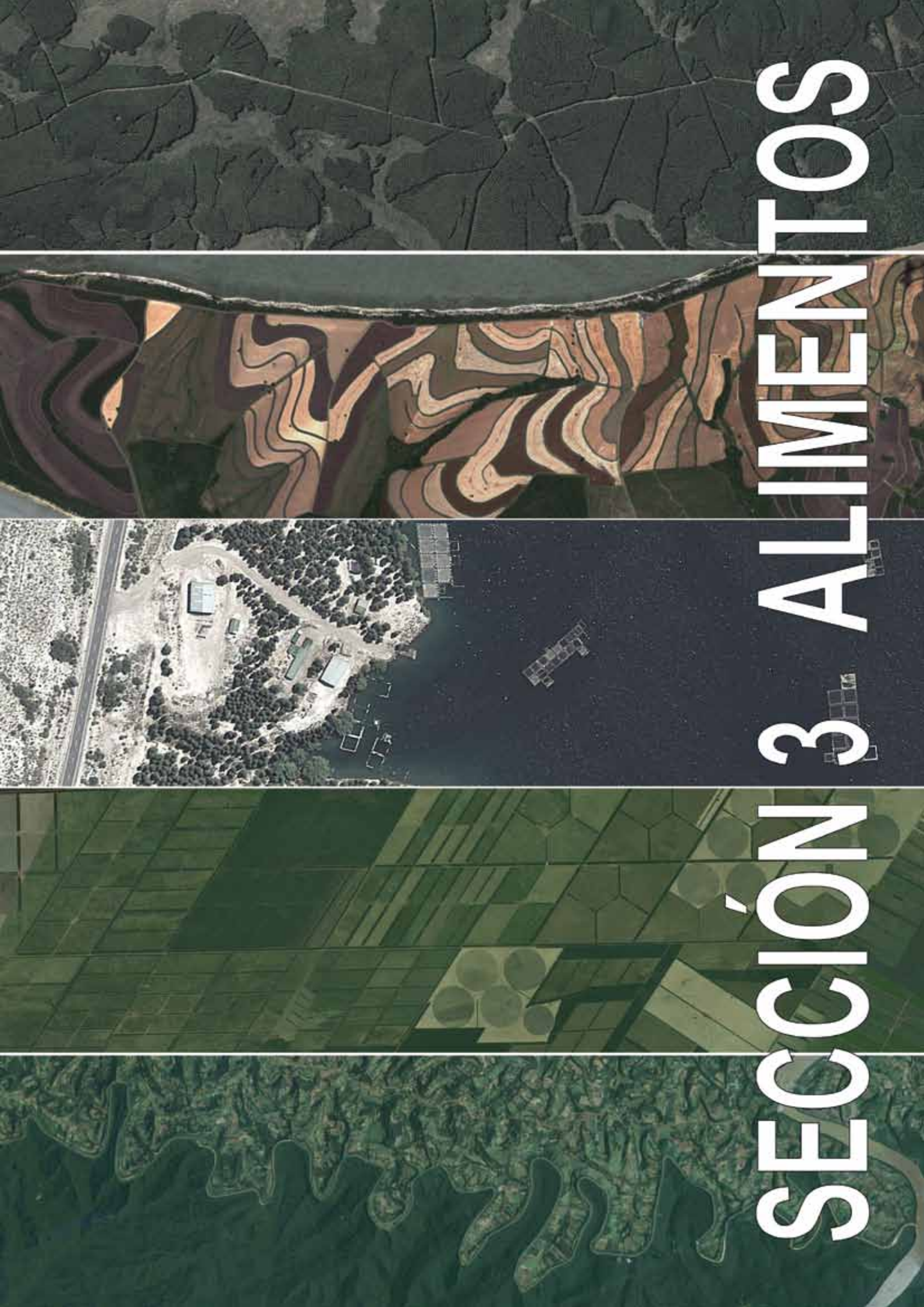
Argentina: la geotermia. Los mayores productores de energía geotérmica son China (8.700 GWh/año) y Estados Unidos e Islandia (5.600 GWh/año, cada uno). La Argentina está muy lejos de aprovechar esta energía. Los yacimientos de calidad se encuentran en la zona andina. Los volcanes son una fuente de elementos geotérmicos, como rocas subterráneas calientes y acuíferos subterráneos que provienen del deshielo y

lluvias. Hay más de 300 puntos de interés geotérmico; pero solo 4 tiene capacidad de temperatura para generar energía eléctrica: Copahue y Domuyo (Neuquén); Tuzgle (Jujuy), Villa del Cura (San Juan) y Bahía Blanca (Buenos Aires). Todos con elevados costos de explotación y transporte eléctrico. En Copahue se inauguró en 1988 una central piloto (hoy fuera

de servicio). La planta era desmontable y transportable, con capacidad de 670 kW. La zona geotermal está a 1.000 m de profundidad y genera vapor saturado (171 °C). Una central Copahue-II se valuó en 0,60 us\$/W generando 30 MW. Debía estar en funcionamiento en el 2015, pero sufrió retardos debido a denuncias por violación de la ley de Glaciares.



2351. Energía geotérmica. Las zonas de mayor potencialidad para energía geotérmica (arriba-izquierda) son aquellas donde se encuentra actividad magmática o volcánica. Coincide en parte con las zonas de terremotos (derecha). La presencia de magma cercano a la superficie genera volcanes y áreas geotérmicas (centro-izquierda). El corte de una planta geotérmica muestra que se inyecta agua fría y el agua caliente que se recupera se usa para mover una turbina y el generador eléctrico (derecha). Una aplicación simple de la geotermia es la calefacción domiciliaria (abajo-izquierda). Se recurre a pozos de poca profundidad. En aplicaciones industriales se pueden hacer obras importantes para intercambiar calor durante invierno y verano (derecha). Se requiere un profundo conocimiento hidrogeológico del acuífero receptor por lo que, los costos de diseño y construcción serán relativamente altos.



SECCIÓN 3 ALIMENTOS

Fotografías satelitales de Google Earth (<https://earth.google.com/>). Desde arriba hacia abajo.

Plantación forestal de monocultivo cercano a Santo Tomé en Corrientes.

Estancia Laguna Blanca con producción agrícola ecológica (Entre Ríos).

Estación de acuicultura de truchas en el embalse Alicurá en Neuquén.

Campos de cultivo en anteriores áreas de bosque nativo en Salta.

Límite entre las áreas protegidas en Misiones (abajo) y las productivas en Brasil (arriba).

La fábrica rural para consumo urbano

La agricultura es una alquimia que transforma carbono atmosférico en alimentos. Uno de cada ocho átomos de carbono en nuestros cuerpos proviene de la quema de combustibles fósiles y llegaron al hombre por la cadena trófica (la respiración no aporta carbono al cuerpo). Por sí misma, la agricultura es acusada de provocar grandes problemas ambientales: sea por el consumo de agua, emisión de gases efecto invernadero GEI, uso de productos químicos, deforestación para liberar terrenos y pérdida de biodiversidad; entre otros muchos cargos. Para el 2050 se espera un incremento del 25% de la población mundial con una mejora general de la calidad de vida. ¿Está la agricultura preparada para el desafío de aumentar la producción 50% (hasta el 100%) en forma sustentable? Muchos piensan que no.

¿Por qué una actividad tan digna llegó a un estado de jaque permanente? Una parte de la respuesta se desprende de una encuesta del año 2012. En Estados Unidos, sobre casi 7.000 agricultores, el 66% aceptaron que el cambio climático está ocurriendo, pero solo el 8% se lo atribuye a la actividad humana. El 31% dijo que no había pruebas suficientes que el cambio climático estuviera ocurriendo. En tanto, la actividad científica tiene más del 97% de consenso en que el cambio climático tiene una causa antropogénica. Hay, por lo visto, un descalce entre la percepción científica y la del agricultor. Pero también a nivel promedio en Estados Unidos, solo el 48% coincide con los científicos (datos de 2014) con un máximo en California del 64%.

Según la magnitud de la producción, las formas de agricultura cubren un abanico desde la subsistencia (producción mínima necesaria para el agricultor y familia) hasta la agricultura industrial (generación de grandes cantidades de productos, mediante el aporte de tecnología y capital intensivo). Según la disponibilidad de tierras, la agricultura puede ser itinerante (se abren claros sobre el suelo frágil del bosque, lo que obliga a cambiar de lugar con frecuencia) o sedentaria (se basa en campos cerrados y habitaciones fijas). Según los métodos usados la agricultura varía desde la natural (producción sin la intervención de un agricultor y donde solo se recogen los frutos); tradicional (sistemas propios de un lugar determinado y con larga experiencia); industrial (producción intensiva para maximizar los rendimientos) y orgánica (sistemas que respetan la ecología restaurando el suelo y el ambiente).

La Revolución Verde. Gran parte de la producción mundial de alimentos se obtiene gracias a lo que se conoció como "Revolución Verde" (1940-1970) y progresó hacia la actual agricultura industrial intensiva. Consistió en usar variedades mejoradas de maíz, trigo y otros granos (no eran transgénicos en aquel entonces); cultivando una sola especie durante todo el año (monocultivos), y con aplicación de grandes cantidades de agua, fertilizantes y plaguicidas. Así, se lograron producciones muy superiores a las técnicas tradicionales.

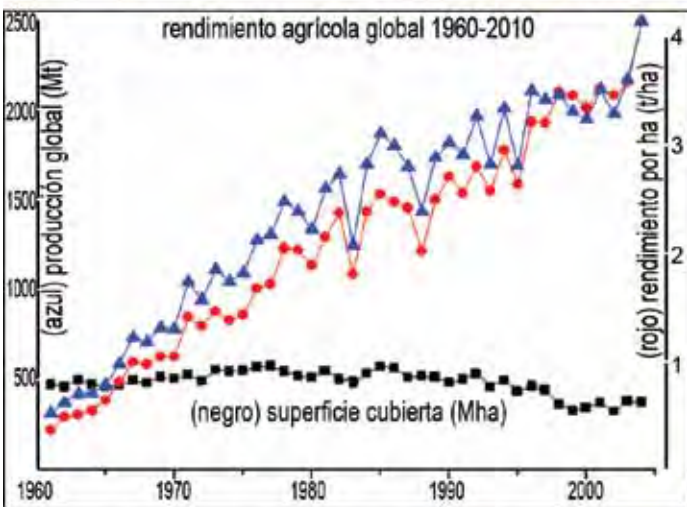
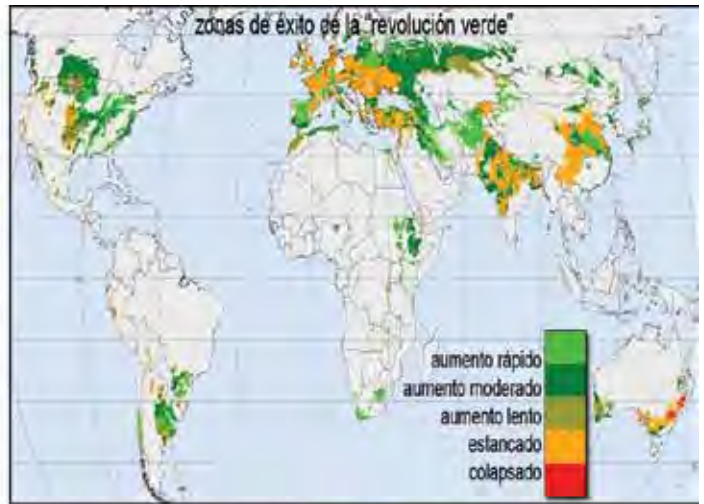
Fue iniciada por Norman Borlaug en Sonora (México) en 1943. Se dedicó a realizar cruces selectivos de maíz, arroz y trigo, motivado por el pesimismo ante la falta de erradicación del hambre y la desnutrición en los países subdesarrollados. El término "Revolución Verde" fue utilizado por primera vez en 1968. Un importante aporte fue en 1961 cuando la India estaba al borde del hambre masiva. Se importaron se-

millas de trigo mejoradas selectivamente y se plantaron en la región de Panyad, por el buen suministro de agua confiable y una historia de éxito agrícola. Así, India comenzó su propio programa de revolución verde en la mejora vegetal, el desarrollo del riego y la financiación de los productos agroquímicos. Por ejemplo, el rendimiento promedio mundial en la producción de arroz en 1960 era de 1,84 t/ha (toneladas por hectárea); en el 2009 llegó a 4,24 t/ha. En el 2013 en la Argentina el rendimiento promedio fue de 6,3 t/ha (el doble de algunos países asiáticos como Filipinas). La forma de cultivo de arroz en la Argentina es por inundación mediante represas y canales. Se utilizan 10.000 m³ de agua por hectárea, lo que equivale a un metro de altura de agua (que no se consume, sino que se evapora y escurre por los arroyos).

Algunos aspectos negativos pronto se hicieron evidentes: el costo de las semillas y la tecnología necesaria; la dependencia del proveedor de granos y agroquímicos; una menor adaptación al clima frente a los cultivos tradicionales; la aparición de nuevas plagas, problemas de almacenaje; etc. La Revolución Verde fue muy criticada desde la ecología, lo económico, lo cultural e incluso nutricional. Entonces, surgieron movimientos que luchan por la disminución del uso de agroquímicos (plaguicidas) y otros productos de síntesis. En tanto, la propia agricultura de la Revolución Verde evolucionó incorporando otras tecnologías y algunos métodos ecológicos que se adaptan a la producción intensa (siembra directa, rotación de cultivos y en seco). Los partidarios de la Revolución Verde hacen notar que si no fuera por ella, muchos más terrenos hubieran sido sacrificados para producir alimentos con métodos de baja productividad. Argumentan que producir más alimentos en menor espacio es una forma de contribuir a la biodiversidad. Además desafían a los métodos tradiciones de producción con bajos rendimientos a alimentar a toda la humanidad.

La agricultura intensiva demanda poca mano de obra pero muy calificada, insumos para siembra, tecnología, agroquímicos y mucho capital de trabajo. Algunos ejemplos de agricultura intensiva son los cultivos hortícolas con muy poca mecanización (intensivo en mano de obra); los cultivos de flores (intensivo en insumos como fitosanitarios) y los cultivos en ambientes controlados, como el hidropónico en invernadero (intensivo en capital). En la producción de cereales se incorporó la genética (transgénicos), la rotación en dos siembras anuales y la siembra directa sin labranza mediante arado.

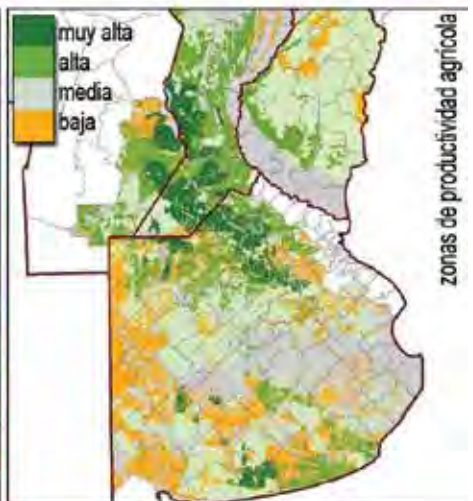
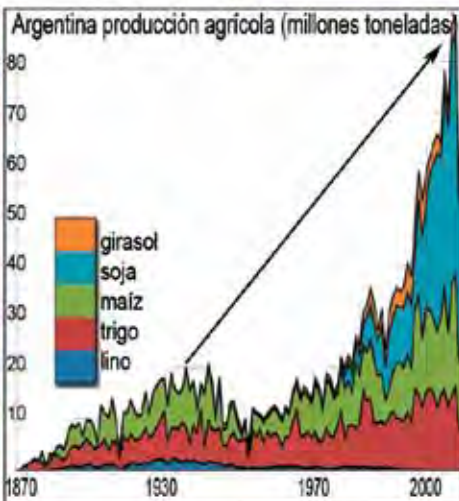
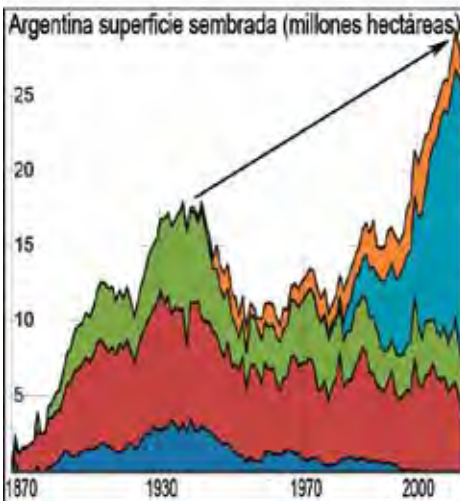
Las objeciones. Algunas características objetadas de los procesos industriales agrarios son: (1) Uso de semillas genéticamente modificadas (transgénicos). Plantación de monocultivos. Pérdida de la "soberanía alimentaria" por la patente de semillas. Dependencia del proveedor. (2) Requiere usar suelos ricos en nutrientes y reponerlos cuando se agotan en forma artificial. Existe una potencial contaminación con agroquímicos (nitrógeno) y residuos de pesticidas en aguas superficiales y subterráneas, suelo y aire. (3) La erosión del terreno y pérdida de la capa superior produce salinización del suelo en zonas secas. En la medida en que se desertifica el suelo, obliga a abandonar los terrenos para arar otros nuevos. Esta objeción se compensa en parte con la siembra directa y dejando la tierra cubierta luego de la cosecha. (4) Desequilibrio en la biota por los pesticidas, deforestación



cambio rendimiento agrícola Estados Unidos 1980-2010

	maíz	soja	trigo	totales
producción total en toneladas	+101%	+96%	-16%	
rendimiento toneladas/hectárea	+64%	+55%	+25%	
erosión (pérdida) de suelo	+67%	-66%	-47%	
riego por hectárea (litros agua)	-28%	-9%	+6%	
energía usada por hectárea	-8%	-17%	+9%	
uso de energía total	+14%	+3%	-26%	
emisiones de CO2 por hectárea	+8%	-118%	+21%	
emisiones de CO2 totales	+31%	+1%	-17%	
horas de trabajo por hectárea	-59%	-66%	-12%	
relación deuda/activos				-37%
incidencia agrícola en PBI total				+69%
accidentes de trabajo				-55%
días de trabajo perdidos				-76%
accidentes fatales (muertes)				-32%

<https://www.feldonmatet.org>



3111. La "Revolución Verde" (i): ventajas. Esta revolución agropecuaria fue iniciada por Norman Borlaug en Sonora-México en 1943 (arriba-izquierda). Permitted un constante incremento en el total producido por hectárea. Es el fruto de la investigación científica puesta al servicio de un objetivo preciso. Tiene un éxito destacado en ciertas zonas del planeta (derecha). Como resultado en 1960 se cultivaban 0,45 hectáreas por habitante y en el 2010 eran solo 0,23 ha/hab. El rendimiento por hectárea y la producción total agrícola a nivel global se incrementó en 4 veces durante 50 años desde 1960 (centro-izquierda). Sin embargo, las variaciones en distintos rubros fueron muy diferentes. Como ejemplo se entregan los valores para Estados Unidos en 1980-2010 (derecha). En la Argentina (abajo) se observa un incremento del 50% en el área sembrada entre los máximos de 1940 y 2010 y un incremento de 4 veces en la producción total en toneladas. La zona agrícola de alta productividad en la Argentina se encuentra al sur de Santa Fe, pero la frontera agrícola marginal se expande en el norte del país. Se producen cereales (trigo, maíz, arroz, cebada, sorgo, centeno y avena); oleaginosas (soja, girasol, lino, maní) y leguminosas. La Argentina posee al norte de Rosario el clúster mundial más eficiente para procesar 60 Mt de soja al año y entregar harina, aceite y biodiesel.

y pérdida de ambientes naturales. Reducción en la biodiversidad, tanto en la vida silvestre como en los cultivos. (5) Es demandante de energía solar directa y combustibles fósiles. Utiliza maquinaria en grandes extensiones con poca mano de obra, muy especializada y alto consumo de combustible. La mecanización redujo la población agraria; aumentó los requerimientos en la industria e incrementó la renta de la agricultura generando desigualdades. (6) Se critica la competencia entre la agricultura para alimentos y otros usos (p.e., biocombustibles).

Una agricultura sustentable debe considerar: (1) Frenar la expansión de la frontera agrícola (desmontes) mediante incentivos económicos (pago por servicios ecosistémicos, certificación y ecoturismo). (2) Mejora de la eficiencia agrícola. Cierre de la "brecha de rendimiento" entre países de alta eficiencia y África. Mejora en la variedad y gestión. (3) Reasignación estratégica para reducir el "problema Goldilocks": demasiado en algunos lugares, muy poco en otros y rara vez lo justo. (4) Cambios alimentarios y evitar la competencia entre alimentos y otros usos (como alimentación de ganado). (5) Reducción de residuos en las granjas por descarte o consumo de plagas.

El caso: "biocombustibles". Este es un caso típico de balance de opiniones. Los biocombustibles tienen varias objeciones: no es una energía completamente renovables y no-contaminante; tiene un bajo rendimiento energético (TRE cercano a 1); y compite con los alimentos (incrementa los precios y aleja la posibilidad de eliminar el hambre en la humanidad). El suelo a escala global es limitado y en disminución, y existe una competencia entre actividades. Por ejemplo, en China la agricultura no puede superar la barrera de 15 Mt/año de soja y debe importar el resto de lo que necesita (60 Mt en el 2014). El primer año de importación fue en 1996 con 1 Mt, desde allí no paró de crecer. La harina se destina a la cría de animales. Las razones del límite de producción son el avance de las ciudades, la limitante de uso de agua y la atomización del sistema productivo. A nivel global, al límite de superficie productiva se suma el uso de granos para otras aplicaciones. Por ejemplo, en Estados Unidos cuando el petróleo superó los 50 us\$/barril (año 2005) se adoptaron varias líneas simultáneas: desarrollo del fracking para explotaciones de reservas no-convencionales de gas; subvenciones a las energías renovables y la producción de biodiesel desde maíz. En 10 años se instalaron 200 refinerías de biodiesel para 125 Mt de maíz que producen el 10% del combustible usado.

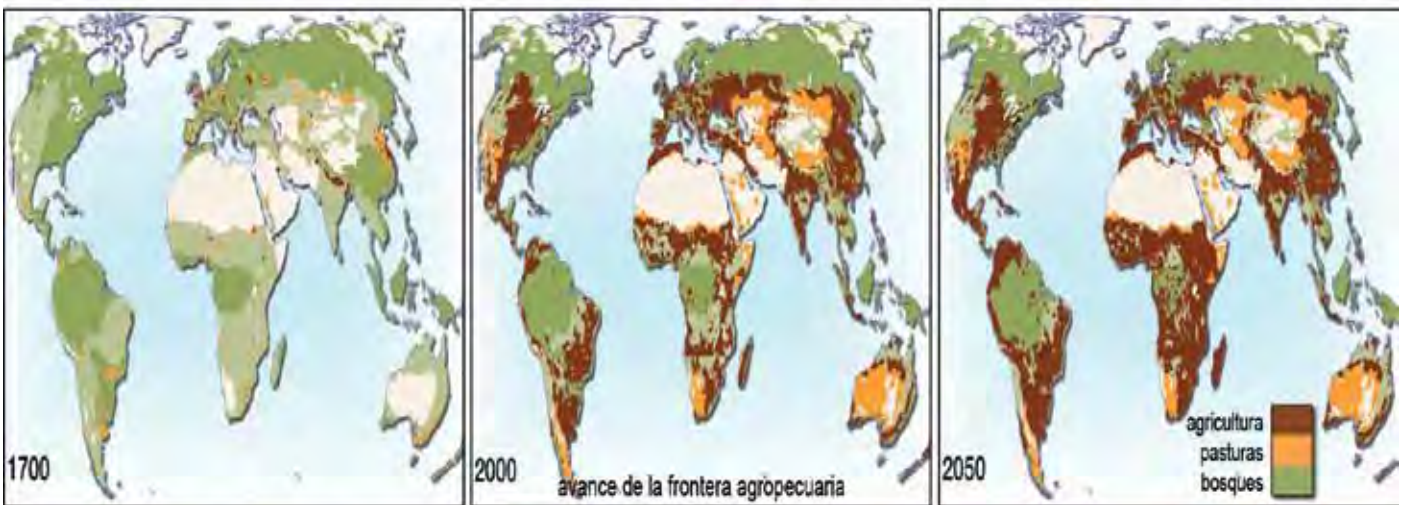
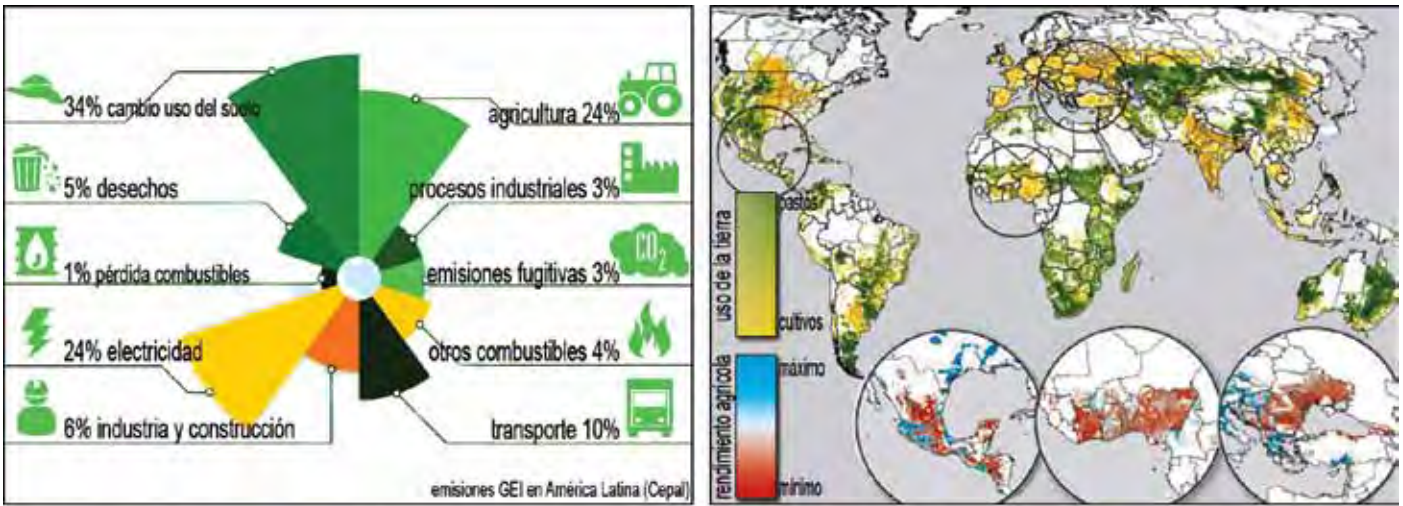
¿Qué dicen los defensores? Para el sector agrario el aumento de precios de los granos beneficia a la producción en gran escala con el resultado de una mayor cosecha. Los productores de biocombustibles indican que el 80% de los residuos de la producción de biodiesel se destinan a la alimentación en *feedlot*, por lo que no se pierden. Así, el maíz procesado genera burlanda (granos de destilería) que se usa como alimento animal con un 30% de proteínas. Aunque reconocen la competencia del biodiesel con los alimentos indican que existen otras competencias a las que se ignora, como las mascotas. También ponen en evidencia a otros competidores por el uso del suelo como el tabaco o el lino para aplicaciones industriales. Otro ejemplo, Ford informó que desde 2008 en el modelo Mustang utiliza espuma de soja para hacer los asientos. En el 2014 el 100% de los modelos de Ford en Estados Unidos tienen los asientos hechos de bioespuma de soja. Esto se presenta como una forma de reducir el uso de derivados del petróleo y emisiones de CO₂, pero, ¿Cuándo se contabiliza el CO₂ de la producción agrícola? Es decir, se la muestra como una medida

amigable para el ambiente. Por otro lado, si se utiliza una planta de producción de biodiesel pequeña que abastece a las necesidades de un lugar remoto con recursos propios vegetales puede ser preferible a traer diesel desde la refinería. Los biocombustibles de segunda generación se hacen con los desechos de la cosecha, siendo más tolerables que el uso de los granos de maíz. Sin embargo, el rastrojo es útil en el suelo para reponer nutrientes, así que quitarlos no es bien visto. Este juego de argumentos ayuda a comprender lo complejo de tomar posiciones dogmáticas en los temas relacionados con la producción de alimentos.

Cambio climático y alimentos. En Cuzco (Perú) se tiene la mayor diversidad de papas. El aumento de temperatura incrementa la virulencia de las enfermedades y los campesinos deben cultivarlas cada vez a mayor altitud (la altura ideal está entre 2.000 y 4.000 msnm). A esto se suma la previsión de reducción de precipitaciones a mediano plazo. En centroamérica, el aumento de temperatura produjo pérdidas del 50% de las plantas de café (*Coffea arabica*, una planta exótica originaria de Etiopía y Yemen) debido a un hongo (roya del café). En Colombia se observó un incremento de temperatura de 1 °C en 30 años, que afecta también a la producción de café. Mayor temperatura significa que los granos maduran antes y tienen menor rendimiento y calidad. En Nicaragua se espera la pérdida del 80% del área de cultivos de café cuando el incremento de temperatura llegue a los 2 °C. Esto equivale a aumentar la altura de los cultivos en cientos de metros. Los modelos climáticos indican para el agro de América Latina una reducción de los rendimientos (por calentamiento y sequías), pero a la vez un aumento de la superficie cultivada (por necesidad de exportación al hemisferio norte). El calentamiento global y la contaminación con ozono podrían afectar al volumen de producción. En estudios recientes se comprobó que ambos aspectos reducen el rendimiento de los cultivos. Se estimó que ésto podría aumentar la tasa de mortalidad infantil en un 50% en el 2050.

El impacto de la calidad del aire sobre el rendimiento se estudió en aquellos cultivos que proporcionan más del 50% de las calorías (arroz, trigo, maíz y soja). El trigo es muy sensible a la calidad del aire y el maíz al calor. El calentamiento global puede reducir el rendimiento en un 10% para el 2050. La contaminación por ozono es difícil de detectar porque se confunde con enfermedades, como manchas en las hojas y decoloración. Pero, se encontró que cerca de la mitad de los daños en la soja atribuidos al calor, en realidad se debieron al aumento de la contaminación con ozono. Los campos no labrados (siembra directa) y cubiertos con los restos de la cosecha reflejan la radiación solar y disminuye la temperatura del suelo. Se estimó en un 50% superior la reflexión en los campos de siembra directa respecto a los labrados. Esto repercute sobre el clima en escala local. En Europa se midió una reducción de 2 °C en los momentos de mayor stress climático (días soleados).

Durante el último siglo, la temperatura media en Assam (India) se incrementó 1,3 °C y las precipitaciones en 200 mm. Allí se produce el té negro Assam (de sabor picante y con cuerpo). Antes la lluvia se distribuía en forma pareja, pero se ha vuelto impredecible debido a los fenómenos meteorológicos extremos. El cambio en el clima benefició a la plaga de insectos mosquitos del té (*Helopeltis theivora*) que infecta los brotes de las plantas. Se aumentó el uso de pesticidas y fertilizantes, lo que afectó a las características del té. Las exportaciones cayeron y obligó a probar tipos de té que pueden adaptarse y sobrevivir



Sectores	Producción total	Pérdida agro	Pérdida estiba	Pérdida proceso	Pérdida entrega	Pérdida consumo	Pérdida total
Bovino	2916	29	23	57	26	220	12,2%
Porcino	432	14	1	21	19	33	20,6%
Aviar	2122	159	42	96	69	125	23,1%
Maíz	33810	1690	964	49	18	45	8,2%
Trigo	8539	342	246	230	139	212	13,7%
Frutas	5412	480	358	211	402	163	29,8%
Hortalizas	5029	1006	402	88	360	262	42,1%
Leche	11750	411	368	171	331	410	14,4%
Oleaginosas	55751	3345	1572	31	11	11	8,9%
Papa	2326	325	280	50	46	52	32,4%
pérdidas y desperdicios de sectores alimentarios en Argentina (miles de toneladas)							
Totales	128086	7803	4255	1006	1421	1531	12,5%



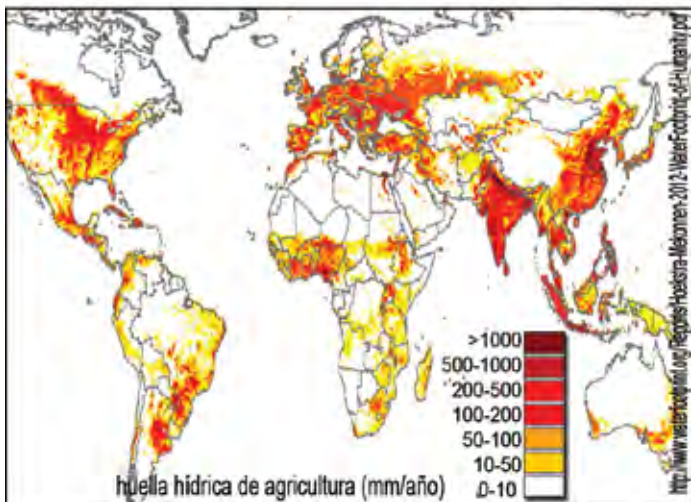
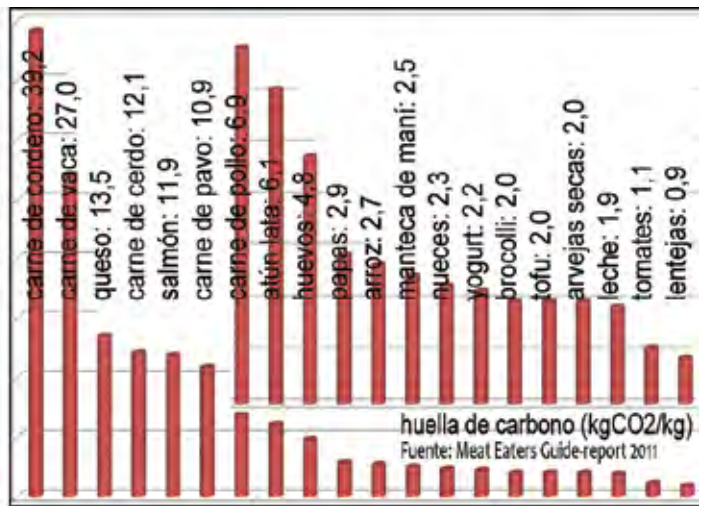
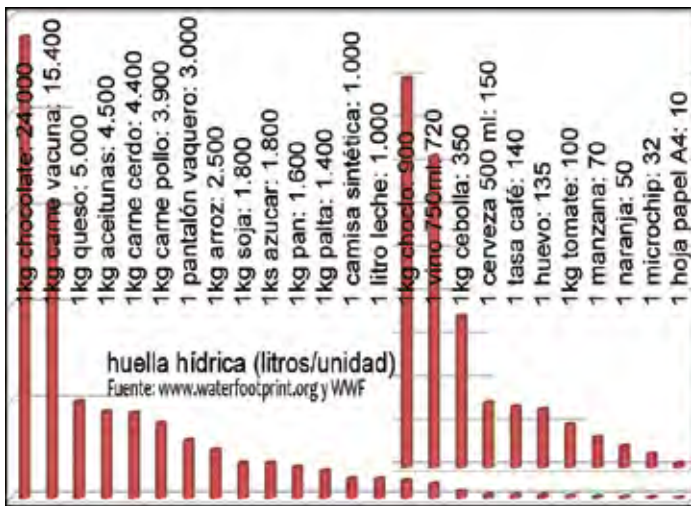
3112. La "Revolución Verde" (ii): problemas. El listado de acusaciones es extenso. La agricultura (24%) y el cambio en el uso del suelo (34%) son responsables de la mayoría de las emisiones GEI en América Latina (arriba-izquierda). Las soluciones pasan por incorporar la Revolución Verde al ciclo natural biológico. El uso de la tierra puede ser en pasturas para ganado o cultivos agrícolas (derecha); pero se tienen muchas zonas donde el rendimiento está por debajo de los máximos posibles. Los organismos transgénicos junto con agroquímicos podrían mejorar el rendimiento en México para el maíz (zonas rojas), pero sería contraproducente para la diversidad genética de los maíces naturales. Otro problema es el avance de la frontera agrícola (centro). La Revolución Verde dice que el aumento del rendimiento es garantía para requerir menos tierras. Las pérdidas en agricultura son de 2 tipos: pérdida de alimentos y pérdida de suelo. En los alimentos se dan en diferente porcentaje dependiendo del tipo y de la etapa (producción agraria, transporte y acopio, procesamiento industrial, comercialización y consumo). Como pérdidas totales el máximo se ocurre en hortalizas (42,1%) y el mínimo en el maíz (8,2%). Se indican los volúmenes en miles de toneladas para la Argentina (abajo-izquierda). La pérdida de suelo se ejemplifica mediante un estudio en campos vecinos (derecha). Los campos en producción tienen menores nutrientes que las zonas protegidas por alambrados y éstos menos que los campos silvestres. Por ejemplo, para la cosecha de soja 2006/7 se estimó que la 47,4 Mt de producción, se llevaron 1,20 Mt de nitrógeno; 0,26 Mt de fósforo; 0,80 Mt de potasio; 0,12 Mt de calcio; 0,13 Mt de azufre y 0,33 Mt de boro.

en condiciones más cálidas y secas. La gestión de los recursos hídricos podría jugar un papel muy importante en el futuro.

La Huella Hídrica. Como el volumen de agua es el mismo casi desde el origen del planeta, el agua no se terminará. Lo que se agota son los reservorios de agua dulce (glaciares, acuíferos, lagos). No hay un sustituto del agua; no se puede “fabricar” a un costo razonable y desalinizar el agua salada demanda mucha energía. Este potencial económico (la unión del oxígeno e hidrógeno) se evidencia en que algunos fondos de inversión de capitales en las bolsas de valores se especializaron en invertir en empresas dedicadas a la eficiencia energética y el uso del agua. El fondo de inversión SGM (California) maneja varios embalses en la cuenca del río Colorado y su lema es una frase de B. Franklin: “cuando el pozo se seca, entendemos el valor del agua”. En California prospera un nuevo negocio, los bomberos privados. Es un servicio que cuesta cerca de 10.000 us\$/año y es el resultado de las sequías y el aumento de incendios. La empresa holandesa Arcadis se especializa en la construcción de diques. Cuando el huracán Sandy

golpeó New York, las acciones subieron el 6% en un día porque el mercado entendió que la ciudad podría ser un cliente potencial.

La Huella Hídrica, también conocido como huella de agua, da cuenta del uso del agua dulce en el consumo y producción de bienes. Es análoga a la huella ecológica, pero mientras la ecológica calcula el espacio físico requerido para producir bienes y servicios (se mide en hectáreas), la hídrica calcula el volumen de agua necesario para lo mismo (se mide en litros). El concepto (WWF-2008) considera el consumo total de agua, las características del clima y la eficiencia al utilizar este recurso. La huella hídrica de un país es el volumen total de agua usado para producir todos los bienes y servicios consumidos. Incluye el agua de ríos, lagos y acuíferos (aguas superficiales y subterráneas) sea para la agricultura, industria y uso doméstico; así como el agua de lluvia utilizada en los cultivos. Para la industria resulta de utilidad como un indicador de la eficiencia en la producción. Se define también la importación y exportación de huella hídrica, lo que se convierte en “agua virtual” de un país. A nivel individual, la huella hídrica es



3113. Costos de producción y calidad. Los “costos ambientales de la producción” son medidos como huella hídrica y de carbono. La huella hídrica indica la cantidad de litros de agua necesarios para producir una unidad de alimento (arriba-izquierda). La huella de carbono indica la cantidad de emisiones de CO₂ que se generan durante la producción de la misma unidad de alimento (derecha). Las huellas son mucho más elevadas para producir animales que para los vegetales. La distribución de la huella hídrica de la agricultura destaca a las zonas de mayor producción (abajo-izquierda); aunque la producción en la zona pampeana es mediante secano sin aporte de agua por riego. Además de los costos se debe considerar la calidad de la producción. Una comparación entre 5 tipos de alimentos (derecha) permite observar lo reducido de la huella hídrica y de carbono del trigo, así como el alto rendimiento por unidad de superficie y en kilocalorías. Varios estudios indicaron que existe una reducción en 50 años en la calidad nutritiva de los alimentos (frutas y verduras). Las causas se buscan en el uso de variedades con mayor productividad en peso pero menor calidad nutritiva (efecto “dilución” de minerales y proteínas) y en la reducción de minerales en el suelo (5 al 40%).

la cantidad total de agua virtual de todos los servicios y productos consumidos. Por ejemplo, el 75% de los productos que consume un europeo proviene de agua que se utilizó en otros países y llegan como productos importados.

La huella hídrica clasifica las fuentes de agua y las distingue entre tres componentes: (1) el agua azul, que es el volumen usado de agua superficial y subterránea (acuíferos); (2) el agua verde, que es el agua evaporada de los recursos hídricos (agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad); (3) el agua gris, que es el volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de los bienes y servicios. Este último tipo, puede ser estimado como el agua que se requiere para diluir los contaminantes hasta el punto de que la calidad del agua llega al nivel de las normativas.

Un problema especial es el consumo de "agua mineral o envasada". En Australia se calculó que el costo es 2.000 veces el valor del agua potable. El sobre costo es por uso de plásticos y el transporte del agua embotellada. Pero además, en muchas ciudades la calidad del agua potable pública está garantizada y tiene un nivel óptimo. Pueden usarse filtros individuales que garantizan una mejora en la calidad. Aún más, el agua pública reduce el riesgo de caries porque se le adiciona flúor. Se espera que el uso de las botellas de plástico y el transporte obligue a su prohibición futura.

¿Con qué alimentarse? Un primer acercamiento a este punto se puede abordar desde lo económico, el ambiente y aspectos nutricionales y de salud, para obtener la sustentabilidad del sistema.

(1) Un punto de vista toma en cuenta el consumo de agua durante la producción. La Huella Hídrica considera la cantidad de litros de agua necesarios para producir una unidad de alimento. Por ejemplo, una manzana puede requerir unos 70 litros de agua. El grado de stress hídrico fluctúa dependiendo del tipo de riego. Puede ser de secano (no hay aporte de agua y solo se nutre de lluvias) o de regadío (con aporte de agua desde cauces superficiales o subterráneos). Las 2.700 kcal/día que se debe consumir como dieta alimentaria básica, equivalen a 4.300 litros de agua en promedio. Pero, si se desagrega el valor en diferentes productos, se encuentra que los cárnicos requieren entre 2 y 20 veces el agua de los productos vegetales, para igual peso. Parece razonable decir que una dieta vegetariana es menos demandante sobre la bioproductividad del planeta.

(2) Otro aspecto es la cantidad de gases GEI que se liberan a la atmósfera durante la producción (Huella de Carbono). Por ejemplo, los tomates liberan 1,1 kgCO₂eq/kg (kg de CO₂ equivalente por cada kilogramo producido) y la carne de vaca llega a 27 kgCO₂eq/kg. Este valor tiene un amplio margen de variación dependiendo del uso de fertilizantes; el transporte y consumo de combustible, etc. En 2014 un informe de Estados Unidos encontró que la producción de ganado vacuno requiere 28 veces más tierra; 11 veces más agua; libera 5 veces más CO₂ y consume 6 veces más fertilizantes que los otros tipos de carnes (cerdo y aves). El trabajo tomó en cuenta las estadísticas del período 2000-2010 para cuantificar el impacto ambiental del ganado vacuno.

La EWG (*Meat Eater's Guide*) es un proyecto de varias organizaciones que investigan con precisión la cantidad de GEI involucrados en los alimentos. En el cálculo se computan factores indirectos, como el uso de pesticidas y fertilizantes. Además toma en cuenta el proce-

so productivo, transporte, mantenimiento, procesado para el consumo (cocinado) y descartes como basura. Un emisor importante es el transporte, por eso es que deben preferirse los alimentos producidos en forma local.

(3) Desde el punto de vista alimenticio se puede considerar el aporte en proteínas, vitaminas y calorías. Así, la carne vacuna tiene una elevada huella hídrica y de carbono frente a los vegetales; pero también dispone de mayor concentración de nutrientes. Se trata de un "valor agregado", que convierte proteína vegetal en proteína animal. La huella de producción de carne es muy diferente si se realiza mediante corrales con aporte externo de alimentos (*feedlot*) o en pastizales naturales. Depende también si es una producción local o una exportación al otro lado del planeta.

El consumo energético por habitante es la suma del consumo alimentario y no-alimentario. El alimento debe aportar entre 2.000 y 3.000 kcal diarias en forma directa. Pero una dieta cárnica debe sumar 10.000 kcal para la alimentación del animal. Cuando se suma el consumo energético no-alimentario los valores son de 4.000-5.000 kcal en la antigüedad y de 50.000 kcal en la actualidad (en Estados Unidos llega a 230.000 kcal/día por habitante). El alimento es solo un 10% del consumo de energía diario, pero tiene un elevado impacto ambiental.

Cuando se analizan diferentes alimentos se pueden comparar los principales indicadores. Así, el trigo y la carne de vaca tienen un alto valor de calorías por unidad de peso (kcal/kg); siendo la leche el que menos tiene. En cuanto a la huella hídrica la producción vacuna requiere 6,23 litros/kcal de agua, mientras que el trigo solo 0,38. Para la huella de carbono la leche libera 17 grCO₂/kcal, mientras que el trigo solo 0,24. También resulta interesante el rendimiento, donde el trigo produce 2.270 kcal/m², en tanto que la leche solo 62. El trigo consume poca agua, emite poco CO₂ y requiere poco espacio, frente a los alimentos cárnicos y derivados. Alguien dijo: "para el 2100 ser carnívoro no será tolerado, así como hoy no se tolera conducir ebrio". Pero, hoy un 20% de la humanidad vive de la ganadería y la mayoría son pobres. Además la ganadería de subsistencia es un eficiente sistema para el manejo de pastizales y los defensores tienen mucho para decir.

Desde el punto de vista nutritivo muchos productos llevan una indicación en el envase sobre la cantidad de kilocalorías que aportan por unidad de peso o volumen. Sin embargo, productos como las bebidas alcohólicas no lo tienen. Una forma de obtenerlo es multiplicar por 7 la graduación alcohólica y se tendrá la cantidad de kcal/100cm³. Por ejemplo, un porrón de cerveza de 600 cm³ y 6% de alcohol, tiene 42 kcal/100 cm³ o 250 kcal en total.

(4) El costo es la variable que hace decidir al consumidor. La suma de costos de producción, transporte y comercialización determinan el valor que el consumidor paga por la unidad de producto. Una producción orgánica puede ser beneficiosa para el ambiente, pero podría tener un valor final que resulte prohibitivo para el consumidor. Solo una conciencia ambiental elevada puede motivar al consumidor a pagar más por productos que respeten el ambiente. El consumidor debe tener en cuenta los desechos: un kg de desecho de carne equivale a 24 kg de trigo en cuanto hace al promedio de consumo de agua, pérdida de hábitat y emisión de GEI.

Los desechos. Alimentar a toda la población mundial requiere

la reducción de los residuos en todas las etapas. Algunos de los puntos conflictivos son: (1) Los agricultores para satisfacer un suministro constante de alimentos producen más que los picos de demanda. (2) En el transporte las pérdidas pueden ser por deficiente cadena de frío o problemas en las vías de comunicación. Las pérdidas de alimentos son importantes debido a cambios de temperatura, humedad y oxígeno en los contenedores. Los alimentos refrigerados tienen un 10-15% de pérdidas. (3) En el procesamiento de alimentos se dan pérdidas durante el almacenamiento en los picos de producción estacional. (4) En la distribución la llegada aleatoria de camiones a los centros de distribución hacen a una fluctuación de precios y oferta de mercancías. (5) En el consumo se tiene el derroche de alimentos por sobrecompras y desperdicios de las comidas no consumidas.

En Estados Unidos se calculó que desde 1974 al 2010 los desperdicios de alimentos aumentaron el 50%. Se estima en 1.400 kcal/día que se pierden en los residuos por habitante. La mayor disponibilidad de alimentos y los precios baratos llevaron a un aumento del consumo y la obesidad actual (efecto *push*). Medidos en otras unidades, el desper-

dicio equivale al 25% del agua dulce consumida y al 4% del petróleo anual. Disminuir los residuos puede reducir el consumo de petróleo.

Pero, los desechos de alimentos no son las únicas pérdidas; también está la pérdida de suelo. ¿Qué sería del suelo sin materia orgánica y minerales que la alimenten? El Módulo de Ensayo Permanente (MEP) es una propuesta de Nidera de análisis comparativo de suelos para determinar el mal uso del suelo y el tipo de agriculturización. Entre los resultados se comparó 3 áreas en Alcorta (provincia Santa Fe). En campos con 100 años de producción agrícola se midió 3,5% de materia orgánica, 13 ppm de fósforo y 0,8 ppm de zinc. Los sectores lindantes al alambrado, con 50 años de protección, dieron respectivamente 3,9%, 30 ppm y 3,1 ppm. Los suelos naturales sin historia agrícola, mostraron 4,4%, 191 ppm y 55 ppm. Las diferencias son notables en cuanto hace a pérdida de suelo y la situación de Alcorta podría replicarse en otros suelos de la zona núcleo, donde hay un régimen de tenencia y uso de la tierra similar, con un 65% de superficie alquilada (el inquilino cuida poco el suelo) y un 82% del área agrícola con soja (de baja rotación).

Biotecnología (i): una variedad apabullante de transgénicos

La manipulación genética. La agricultura intensiva tiene un carácter industrial y se apoya en cuatro grandes pilares: la maquinaria agrícola y el transporte de alimentos a larga distancia; los agroquímicos para control de plagas y como fertilizantes; la biotecnología que incluye los organismos transgénicos y el aporte de agua externa mediante sistemas de riego. Los dos primeros están relacionados con el uso de petróleo. Alguien dijo que "todo lo que comemos es petróleo". La biotecnología es una de las principales fortalezas de la nueva agricultura intensiva. Los transgénicos son importantes en la lucha contra el hambre (como alimentos) y otras aplicaciones, pero para muchos, los transgénicos son un riesgo que no vale la pena correr.

Los alimentos transgénicos se producen a partir de organismos GMO (*Genetically Modified Organism*). La técnica consiste en aislar el segmento de ADN dentro del genoma que contiene los genes deseados de un organismo vivo. Luego, mediante ingeniería genética, se lo incluye dentro del ADN de otra especie. Así, la segunda especie adquiere la característica de la primera. En cambio, la mejora genética clásica trabaja en forma indirecta, mediante cruces e híbridos de animales dentro de la misma especie y diferentes razas. Hace 15.000 años que se realizan mejoras por *selección artificial* eligiendo los mejores individuos para la reproducción en lugar del consumo. Antes de los transgénicos, se usó la *mutagénesis* para producir mutaciones en los genes y obtener variedades de trigo, arroz, entre otros. La mutación se logra mediante radiaciones o productos químicos. De hecho, el trigo actual está tan modificado que sus semillas no se dispersan, por lo que no podría sobrevivir en la naturaleza. Sin embargo, la mutagénesis no recibió las objeciones que recibe la *transgénesis*.

En 1876 se realizó la primera cruce entre especies de géneros distintos. Un siglo después, en 1986, Monsanto crea el primer vegetal transgénico; era el tabaco con un gen resistente al antibiótico *Kanamicina*. En 1994 se comercializó el primer alimento transgénico, los tomates *Flavr Savr* de Calgene. Se le introdujo un gen que genera una

enzima que retarda la maduración (tomates larga vida). Dos años después se retiró de la venta de productos frescos por presentar una piel blanda, sabor extraño y cambios de composición. En el año 2011 en la Argentina se plantaron casi 24 Mha (millones de hectáreas) de semillas transgénicas de maíz, soja y algodón. Es el tercer país en el mundo detrás de Estados Unidos (69 Mha) y Brasil (30 Mha). La soja es nueva entre los cultivos agrícolas en la Argentina (en China lleva 5.000 años) y ha desplazado a muchos cultivos en 30 años.

¿Qué se busca? Los 2 caracteres más buscados en la agricultura transgénica son la resistencia a herbicidas y a los insectos. Hay mucho interés en otras características: la productividad (cantidad y tamaño de granos y espiga; velocidad de maduración; posibilidad de varias cosechas); la tolerancia a los ambientes extremos (salinidad, humedad y temperatura); las mejoras ornamentales (altura, ramificaciones y floración); el contenido nutricional (almidón, proteínas, lípidos y vitaminas); la producción de proteínas útiles para otros fines (medicamentos), etc.

El caso: "transgénicos-Bt". Un producto estrella son las plantas tolerantes a insectos y el más popular es la bacteria *Bacillus thuringiensis*. Esta bacteria tiene un gen Bt que produce una enzima tóxica para los gusanos. Se usa desde 1938 en forma natural y desde 1996 en forma transgénica. La toxina agujerea el tubo digestivo de las larvas, matándolas. El gen Bt fue aislado e incorporado al genoma del maíz, algodón y otros muchos cultivos, de forma que se defiende en forma "transgénica" de los gusanos. La toxina Bt controla al barrenador de maíz, al gusano cogollero del tabaco, al gusano del algodón, etc.

Cerca del 70-90% de las plantaciones de algodón son GMO-Bt. En China se informó que la aplicación redujo las plagas, el consumo de insecticidas, disminuyeron las intoxicaciones y aumentó la abundancia de organismos naturales. En Arizona se informó que el algodón-Bt requirió la mitad de insecticida y benefició a la biodiversidad natural. En el 2013 el 76% del maíz en Estados Unidos era Bt. Pero en México no se usa maíz-Bt

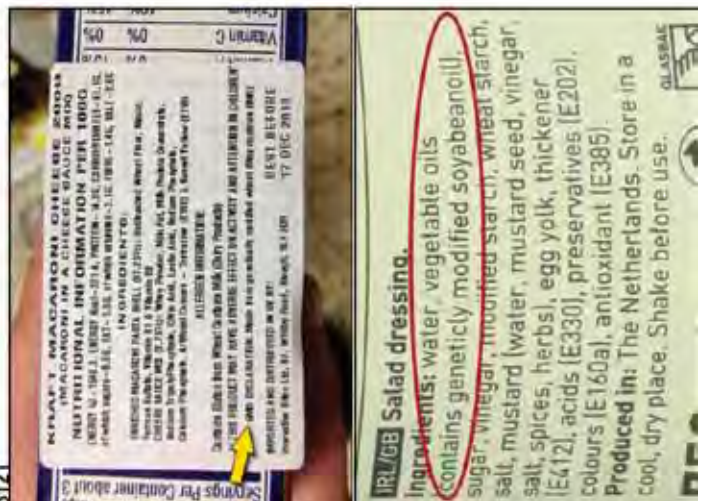
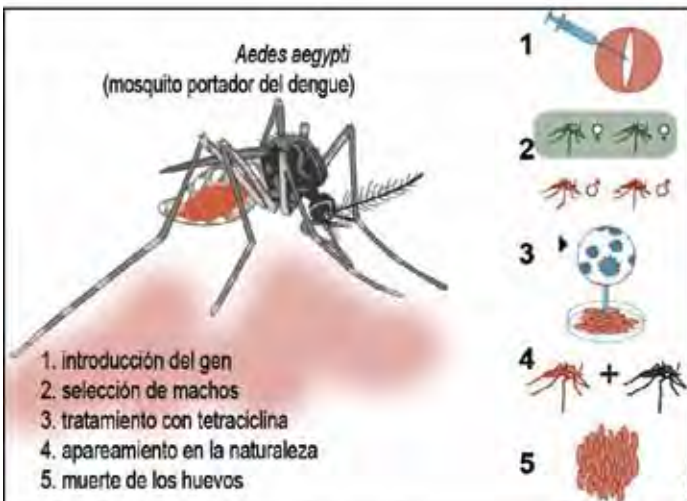
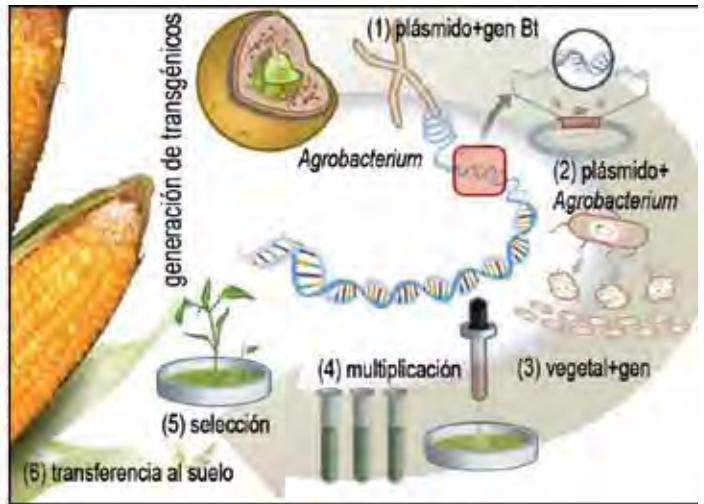
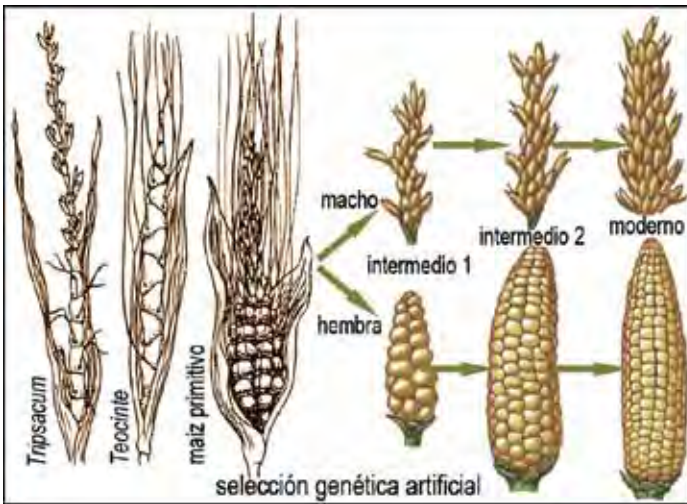
y se aplican 3.000 toneladas de insecticidas organoclorados para controlar los gusanos. Esta aplicación podría reducirse con el maíz-Bt; pero los GMO son resistentes en muchos países. El problema es la propagación genética horizontal (desde maíz-GMO al maíz natural), siendo que México tiene la reserva de maíces silvestres más importantes del mundo.

Los GMO-Bt no son infalibles (fin de las buenas noticias), tanto en la acción selectiva (también ataca a otros organismos silvestres), como en el control de las larvas objetivo (surgen variantes resistentes). En Europa (2009) se reportó que los GMO-Bt mataban a un coleóptero silvestre que se alimenta de áfidos (un control de plagas natural). La industria montó una dura respuesta culpando a los "negadores dogmáticos", en lo que es una forma de "muerte al mensajero". En Estados Unidos se empezó a usar GMO-Bt en el 2003 y para el 2009 (en Iowa) se dieron los primeros alertas de gusanos que eran inmunes. Una variante de toxina, de las 3 que existían, había sido resistida por los gusanos, en un proceso evolutivo bastante rápido. La lucha contra las plagas es un desafío permanente y se dice que el insecto siempre va a ganar y lo que se requiere es una inteligente rotación de cultivos para evitar la radicación de la plaga.

En India se analizaron 4 aldeas en las que no se sembró algodón-Bt en el 2003 y en el 2007 el 100% fueron de este tipo de GMO. Los rendimientos a corto plazo aumentaron el 18% y el consumo de plaguicidas disminuyó el 55%. Pero, la población de insectos no atacados por el gen Bt comenzó a aumentar. Sin embargo, el principal problema fueron los indiscutibles cambios que debieron seguir los agricultores. Las estrategias se cambian muy rápido, sin tiempo para la evaluación y con presión de la industria. Esto va en contra de una gestión agrícola sustentable.

Los GMO pueden llevar varios genes en el mismo producto, en los que se llama "eventos apilados", similar a los features de los productos tecnológicos. Es común la combinación Bt (contra gusanos de lepidópteros) y la resistencia al glifosato (herbicida). También se puede agregar la resistencia a coleópteros. Con el fin de superar la resistencia de las mutaciones de los gusanos se hacen cambios en las toxinas. Por ejemplo, la Bt Cry1Ab es una toxina que se modificó a Bt Cry1AbMod y que resulta eficaz frente a insectos resistentes como el gusano de la cápsula de algodón.

Biología sintética. En el 2010 se presentó el primer genoma



3121. La ingeniería genética. La mejora genética fue hecha desde la revolución agrícola. La primera forma fue mediante la selección artificial: reservando los mejores ejemplares para la reproducción en lugar del consumo. Luego se aplicó las cruza de razas o de biotipos (arriba-izquierda) para obtener las mejores características de cada grupo. Más reciente se implementó la mutación de genes (mutagenésis) y la adición de genes extraños (transgénesis) (derecha). La producción de organismos GMO crece en variedad y aplicaciones y solo como ejemplo se muestra la forma de obtener mosquitos transgénicos que sirven para controlar el dengue (abajo-izquierda) mediante un gen que vuelve adicto al mosquito de forma que el compuesto solo se administra en laboratorio. Los organismos GMO para alimentación sufren cuestionamientos frecuentes. Una forma de protección para el consumidor es la identificación en la etiqueta (derecha).

sintético para bacterias y en el 2014 un ADN sintético para la levadura. Este ADN artificial reemplaza uno de los 16 cromosomas de la levadura. La levadura es de interés por sus aplicaciones industriales (fermentación de cerveza), y puede ser de importancia en la producción de biocombustibles desde desechos agrarios. Sobre el ADN original de la levadura (316.000 pares de bases) se modificaron secuencias y se eliminaron partes sin uso, llevándolo a 273.000 (50.000 cambios en total). Este procedimiento de biología sintética va más allá de la modificación genética, ya que diseña un nuevo material genético, reescribiendo la secuencia. Los opositores dicen que se está jugando a "ser Dios" al crear nuevas formas de vida. Pero quienes trabajan en el proyecto mencionan que fueron diseñados para que solo sobrevivan en laboratorio con el control externo.

Otro caso de edición genética es la eliminación de letras del ADN de forma que se desactiven genes que pueden ser perjudiciales. La transgénesis, como incorporación de genes externos, requiere mucha inversión para probar la inocuidad. En cambio, la eliminación de genes podría ser mucho más económico y sin correr con riesgos potenciales. Es una manipulación genética pero sin incorporación de genes. Por ejemplo, una papa a la cual se le anula el gen que convierte la sacarosa en glucosa y fructosa, permite que al freír se produzca menos acrilamida, una sustancia sospechada de ser cancerígena. La empresa que realizó este ensayo recibió el "no" de varias grandes empresas que usan papas. Por ejemplo, McDonalds está bajo fuerte presión para rechazar todo producto transgénico, siendo que ya anunció el uso de pollos a los que no se le administran antibióticos.

El caso: "Monsanto". En la agricultura el uso de herbicidas fuertes (poco selectivos, de amplio espectro) como el glifosato, son posibles gracias a que las plantas transgénicas los resisten. Así, se tiene la soja (*Glycine max*) RR (*Roundup Ready*, resistente al glifosato). En particular, Monsanto era una compañía química que inventó el herbicida glifosato en 1970. La marca comercial es *Roundup* y la patente expiró en el año 2000. Antes, fue uno de los productores del "agente naranja" usado en la Guerra de Vietnam como defoliante. Con el glifosato en mano, desarrolló una planta transgénica que lo resistía. Así patentó las semillas transgénicas resistentes al glifosato (utiliza un gen de la bacteria *Agrobacterium*). Desde 1996 fueron vendidas en un paquete tecnológico junto con el herbicida.

El glifosato se absorbe por las hojas (no por las raíces) e inhibe la capacidad de síntesis de los aminoácidos aromáticos, lo que impide el crecimiento y lleva a la muerte en 7-14 días. Es de amplio espectro (no selectivo) y se usó también para exterminar plantaciones de amapola y coca, lo cual dio origen a plantas de coca resistentes a este herbicida. En el 2007, Monsanto fue multada en New York por publicitar al glifosato como "biodegradable", cuando es altamente persistente en el suelo. Se denunció que el glifosato ingresa en las plantas y permanece por un año por lo que pasa al hombre. El glifosato en la Argentina llegó a los tribunales por varios casos de contaminación. El uso está muy extendido debido a que se asocia a la siembra directa de transgénicos resistentes a herbicidas. Se lo vincula a casos de malformaciones congénitas, abortos, esterilidad y mortalidad infantil.

En Colombia durante 20 años se fumigaron partes de la selva en San José (Guaviare), considerada una de las zona de mayor producción de coca en el mundo. Entre los ingredientes está el glifosato y se rociaron unas 1,6 Mha hasta el momento. En estas fumigaciones se

incluyeron campos de cultivos de campesinos e indígenas. Se han reportado casos de enfermedades, propagación de tóxicos por el agua y desplazamiento de las plantaciones de coca hacia lugares vecinos. En el 2015 las incursiones se suspendieron y se prometió buscar formas de lucha que causen menos daño al ambiente y la salud pública.

En la Argentina, Monsanto entró en conflicto de patentes con la ley de Semillas que data de 1973 y que permite el acopio de granos para siembra. Entonces abandonó el mercado de venta de semillas RR1 (Round Ready resistente al glifosato), realizó una transferencia tecnológica a Don Mario, Nidera y ACA (Coninagro) y se mantuvo con la venta del herbicida. Una década más tarde, en el 2013, reingresó con la marca propia (Asgrow) y semillas "Intacta RR2 pro" con capacidad de resistir el glifosato, a insectos y con mayor rendimiento por hectárea. Monsanto intentó introducir en el proceso de venta que el productor firme un contrato donde reconoce que debe pagar por la tecnología cuando realiza la cosecha. Este paso no estaba previsto a principios de siglo y los productores acopiaban semillas para la próxima siembra. Pero algunos se aprovecharon de esta situación de forma que producían soja para vender como "bolsa blanca" en lugar de llevarla al molino. De todas formas la polémica siguió vigente, los productores señalaron su oposición a esta metodología y que seguirán acopiando. En tanto el gobierno pretendía ordenar el conflicto mediante regulaciones que reconozcan el valor de la patente.

Monsanto en el 2013 adquirió una empresa de seguimiento del clima tomando información de todos los campos de cultivo (2,5 millones de puntos). De esta forma puede ofrecer servicios a los agricultores que se verán afectados por el clima, sea para elegir el momento para regar o para esparcir pesticidas. Entrega información de humedad del terreno y vientos de superficie. Además, permite generar estadísticas de rendimiento y desarrollar transgénicos a la medida del calentamiento global. Pero, Monsanto es solo una de las agrotecnológicas. Por ejemplo, Dow Chemical presentó un sistema para controlar malezas llamado Enlist. Incluye semillas transgénicas con varios "eventos apilados" como resistencia Bt, al glifosato, glufosinato y 2,4D. Además se encuentra Pioneer (Dupont), y las europeas Syngenta, Bayer y Basf en el mismo negocio de la biotecnología.

El arco iris de la biotecnología. En el 2012 se insemnaron artificialmente más de 100 millones de bovinos en el mundo. Esta técnica fue la primera generación de la biotecnología para mejorar la calidad de la carne. Luego siguió la manipulación de óvulos y actualmente la transgénesis. Los animales GMO pueden ser "diseñados" para tener características físicas especiales o para la producción de órganos y proteínas (industria farmacéutica). Muchas aplicaciones tienen "buena prensa" aunque algunos argumentos en contra se aplican a todos los GMO. Una propuesta interesante es rescatar los "buenos genes" de las plantas (resistencia natural a plagas) e insertarlos mediante transgénesis en la misma especie. Se trata de organismos que regresan al estado natural con genes de la misma especie, por lo que no deberían ser identificados como GMO. La tecnología usada es la transgénesis, pero el organismo final es el natural con mejoras propias de la especie.

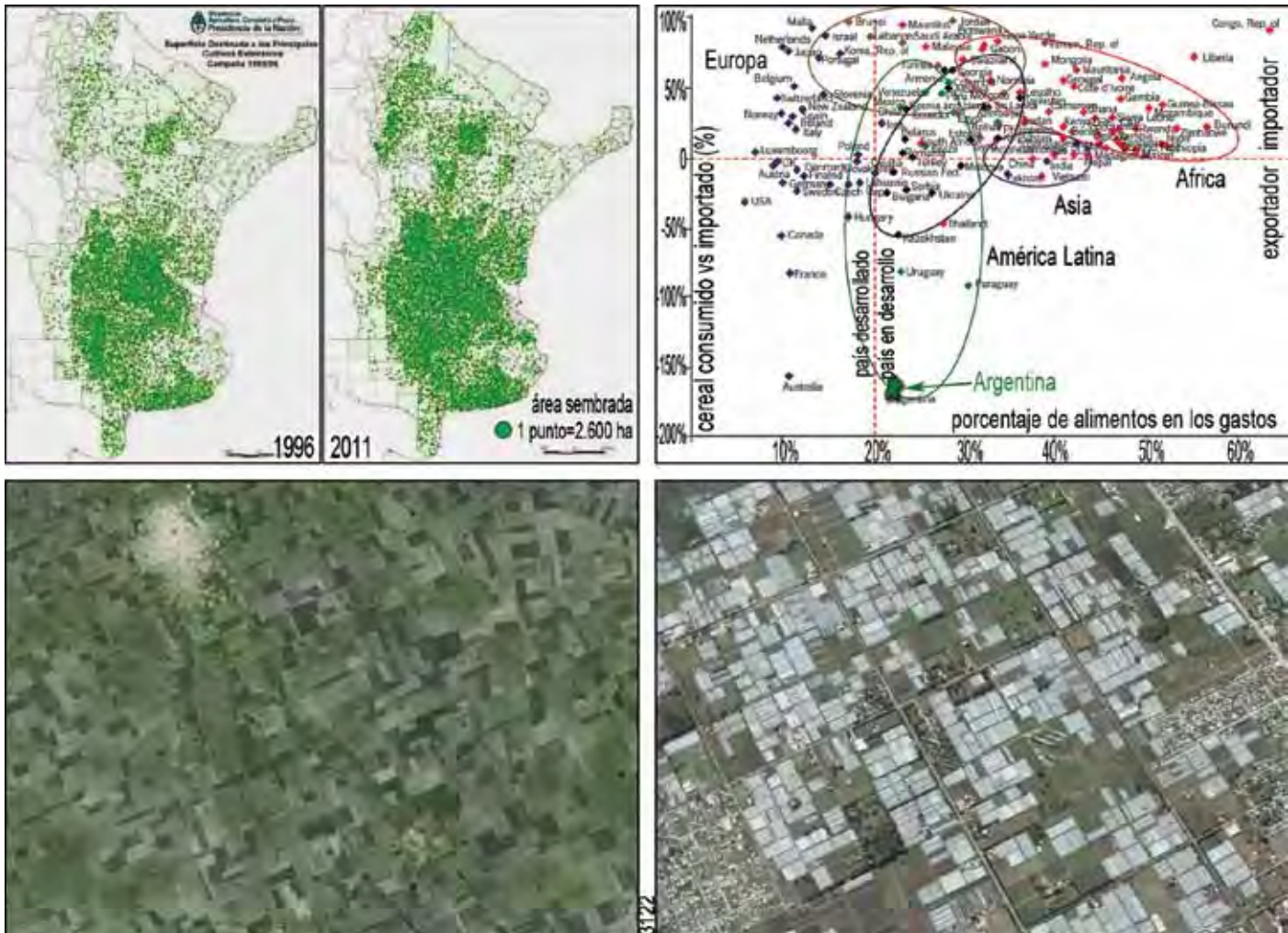
La variedad de GMO es abrumadora. (1) Hongos e insectos GMO: hay hongos transgénicos que pueden ayudar en la lucha contra la malaria; insectos machos que son estériles y reducen la capacidad reproductiva de las hembras. (2) Vegetales GMO: hay tomates que producen cera de un hongo en la superficie y que transpiran menos agua; árboles con características de resistencia a virus, de crecimiento acelerado o

de mejor calidad de la madera; berenjenas resistentes a orugas que no requieren plaguicidas; el "arroz dorado" que produce un tipo de vitamina A que puede salvar millones de vidas infantiles; plantas con raíces que absorben los contaminantes del suelo; coles que producen un veneno del escorpión y que mata a las plagas de orugas; bananas que acumulan proteínas de virus y producen inmunidad cuando se comen; plantas que acumulan mayor cantidad de CO₂ en las raíces para contener el efecto invernadero. (3) Animales GMO: hay peces (salmón y truchas) creados para un rápido crecimiento en acuicultura; vacas que producen proteínas para alimentación de lactantes o medicinas; aves transgénicas que serían resistentes a la gripe aviaria; gallinas que ponen huevos con fármacos para el cáncer o la artritis; cerdos que excretan un 70% menos de fósforo que contamina las aguas residuales; vacas que producen un 25% menos de metano debido a la identificación de la bacteria que lo origina; cabras que producen en la leche la proteína de las telas de araña (útil para ligamentos artificiales y productos industriales) o que producen proteínas específicas usadas como medicamentos en los humanos.

En 2014 se anunció que se usará la edición genómica para crear cultivos fácilmente digeribles por el ganado, lo que podría aumentar

la productividad de las granjas. Una variedad es una cepa de maíz que produce una enzima que ayuda a las gallinas a extraer más fósforo del pienso. La enzima se entrega como complemento nutricional y se obtiene de microbios. La idea es que el maíz incorpore los genes que producen la enzima liberadora de fósforo. Por otro lado, el ganado vacuno se alimenta de granos con buena densidad energética pero carentes de materiales fibrosos necesarios para que el sistema digestivo se mantenga sano. El tallo del maíz es masticable, pero no es nutritivo, por lo que se necesita modificarlo para que se pueda rumiar y obtener energía a la vez. Para impedir que las enzimas transgénicas perjudiquen a las plantas mientras crecen, se modifican estas enzimas de forma que están latentes hasta activarse por el calor o cambios en el pH durante el procesado antes del uso.

En un proyecto de cerdo-GMO (Enviropig) se le añadió la capacidad de digerir el fósforo de las plantas con mayor eficiencia. Los beneficios son la reducción de costos de alimentación (fósforo adicional en la dieta) y la contaminación con fósforo desde los excrementos. Se logra mediante un gen de *E. coli* que produce la enzima fitasa en las glándulas salivales que degrada el ácido fítico y libera fósforo. El ácido fítico contiene el



3122. La producción de alimentos en la Argentina. El área sembrada en la Argentina se incrementa gracias a semillas que soportan climas adversos en el norte (arriba-izquierda). El consumo en alimentos comparado con las importaciones muestra que la Argentina dedica una parte pequeña (20%) de los ingresos en alimentos y exporta más del 150% de lo que consume (derecha). La agricultura intensiva con rotación y siembra directa se hace evidente en las inmediaciones de Casilda (abajo-izquierda). En la Argentina (2015) esta agricultura explota el 70% en soja (lo que indica un porcentaje bajo en rotación de cultivos) y se repone 35% de nutrientes (lo que indica pérdida de suelo). Otra muestra de tecnología en la producción de alimentos son las granjas con invernaderos de plástico para hortalizas en las inmediaciones de La Plata (derecha). En ambos casos se aprovecha al máximo los espacios y se concentran productores del mismo tipo de agricultura.

50-75% del fósforo de los cereales que se usa de alimento. Los objetores dicen que la contaminación con fósforo debe tratarse reduciendo la concentración de animales (trasladan el problema de los cerdos a la industria). En el 2012 se puso fin al programa de desarrollo y se mató a los cerdos de la décima generación del proyecto. Sin embargo, el material genético quedó almacenado en el Programa de Repositorio de Genética Agrícola canadiense.

El caso: "mosquitos GMO". En la década de los '50 el parásito gusano barrenador (etapa larval de la mosca azul) desbastaba los rebaños porque podían horadar la carne. Entonces se criaron moscas a las que se sometió a rayos X para esterilizarlas y luego se liberaron. La descendencia resultó estéril. Hoy día, una plaga que podría tratarse en forma similar es la mosca que ataca los frutales. La propuesta es generar moscas transgénicas donde solo los machos sobreviven porque se coloca un gen que interrumpe el desarrollo de las hembras. No requieren un tratamiento previo y lo que se logra es una sobreabundancia de machos.

En Brasil se autorizó el uso de mosquitos machos GMO de *Aedes aegypti* para combatir el dengue. En el 2013, cerca de 1,5 millones de habitantes padeció el dengue y provocó 545 muertes. Solo la hembra pica y transmite el dengue. Aunque hay medidas preventivas, no son curativas. Así que, el sistema de salud colapsa en las épocas de contagio. Es una especie invasora, de carácter urbano y que llegó desde Singapur por el comercio internacional. Los insecticidas del siglo pasado los exterminaron y luego, volvió a reintroducirse. El proceso de transgénesis funciona así: se introduce un gen en el genoma que vuelve a las crías dependientes de la tetraciclina (antibiótico) para desarrollarse. En laboratorio se les administra tetraciclina; se seleccionan los machos (variante conocida por OX513A) y se liberan en la naturaleza para que se apareen con las hembras normales. Los huevos producidos son adictos a la tetraciclina y morirán al no recibirla. En los ensayos se redujo 81-93% la población de la especie. Se estima que se requieren liberar 500.000 ejemplares transgénicos por habitante y por semana para garantizar la reducción del riesgo. De esta forma se lucha contra el vector y no contra el virus. La primera aplicación de esta tecnología fue en las Islas Caimán en 2010, donde se liberaron 3,3 millones de mosquitos en 5 meses y redujo la población de *A. aegypti* en 80%. Desde las organizaciones ecologistas dicen que no existen evaluaciones independientes sobre los posibles peligros.

Así como un automóvil lleva mecanismos de seguridad incorporados (cinturones y airbag), algunos transgénicos llevan mecanismos para evitar que se escapen a la naturaleza. Un caso similar a la tetraciclina es la *E.coli* a la cual se le incorporaron genes que codifican

aminoácidos sintéticos (no disponible en la naturaleza). Solo puede duplicar el genoma en un ambiente donde se adiciona este aminoácido en forma artificial. Para lograrlo se hicieron 49 cambios en el genoma, adicionales a los que se requieren para el uso específico como GMO.

Humanos transgénicos. La edición del ADN no se detendrá en el ser humano. Es posible editar el ADN del óvulo, espermatozoide o del embrión. Podría ser una forma de evitar enfermedades transmitidas por eliminación de genes o inserción de otros que confieren nuevas características (huesos irrompibles). Si ciertos errores en el genoma dan lugar a enfermedades parece razonable pensar en repararlos. Técnicamente es posible, pero ¿es legal? Los problemas por el momento son éticos. Algunos países prohibieron la ingeniería de "línea germinal", es decir, cambiar genes de forma que puede ser heredado a la próxima generación. De hacerse hoy día solo sería accesible a los ricos y afectaría a las futuras personas sin su consentimiento. También es posible que al conferir inmunidad frente a una enfermedad se rompa algo en el genoma. Se argumenta que modificar varios genes a la vez puede tener consecuencias no previstas. Un error podría generar una vida humana defectuosa, podría ser detectable solo después del nacimiento, podría aparecer muchos años más tarde y además podrían ser hereditarios.

Algunos insisten en entablar una moratoria hasta que se debata la ingeniería genética en los humanos. Una moratoria parece difícil ya que siempre existirá un lugar donde las leyes no lleguen y la experiencia se concrete aun con todos los riesgos expuestos. En el 2015 se informó en China sobre un trabajo con primates para perfeccionar la técnica, lo cual se acerca mucho a los humanos. Trabajar con ratas no siempre entrega resultados que se confirman en humanos y por eso usaron primates. En forma opuesta se trabaja en crear primates con autismo o Parkinson mediante la incorporación genética. Esto permitiría estudios posteriores, sean de conducta como farmacológicos. También en China intentaron hacer experimentos sobre el genoma humano pero fracasaron, según sus propios informes. El objetivo era erradicar la enfermedad beta talasemia, que afecta la sangre en forma hereditaria.

En el 2015, en China, se informó de la reproducción de perros transgénicos, que se suma a cabras, conejos, ratas y monos. Para el caso de los perros se eliminó el gen que produce la miostatina (proteína natural que limita el crecimiento muscular). Esto lleva a acumular el doble de la masa muscular. La tasa de éxito es llamativa: se produjeron 65 embriones GMO, nacieron 27 cachorros, 2 mostraron la ausencia de miostatina, pero uno solo con ausencia total de la proteína.

Biotecnología (ii): los argumentos de las partes

Fuego cruzado. La industria de los transgénicos lleva ventaja estratégica sobre los objetores porque los beneficios son muchos y los riesgos no están debidamente evaluados. Por ejemplo, quienes están a favor de los GMO dicen que los objetores no quieren ver las abundantes pruebas que confirman la inocuidad de estos alimentos. Los comparan con los pocos objetores del cambio climático que no aceptan los argumentos a favor de las causas antropogénicas. Dicen

que oponerse a la revolución genética es como pretender retrotraer la revolución industrial a sus orígenes. La industria financia en forma obligada estudios que argumentan la ausencia de riesgo en los GMO y se encarga de estigmatizar a quienes se oponen.

En la otra vereda se cuestiona que la ingeniería genética parte de un supuesto peligroso: los genes tienen una función en sí mismos, sin

tener en cuenta otros factores internos o externos del organismo. Dicen que podrían existir inestabilidades genéticas en los organismos transgénicos que se observarían dentro de muchas generaciones con implicancias fisiológicas o ecológicas. Los genes introducidos podrían migrar y mutar, comenzando a actuar de forma diferente. Además un gen podría llegar a inhibir la función de otros vecinos. También se argumenta que los granos transgénicos aumentan la virulencias patogénicas de las plagas (causan enfermedades infecciosas); generan cepas resistentes; degradan la calidad del suelo; producen la reducción de los campos de cultivo y favorecen la pérdida de nutrientes en los alimentos.

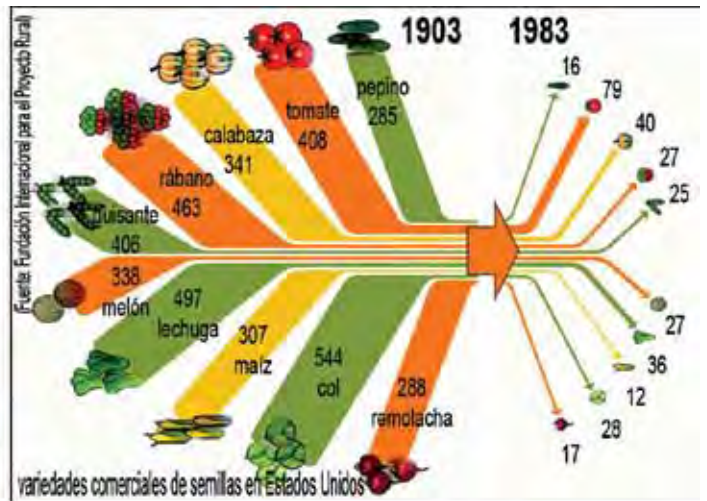
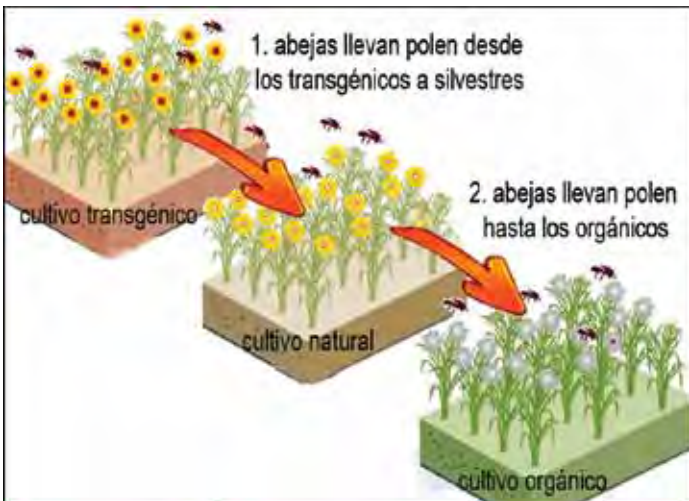
Parece difícil separar "la paja del trigo" en medio de una polémica donde la relación de fuerzas es desproporcionada. Con los transgénicos ocurre algo similar a la fracturación hidráulica en la producción de petróleo. Los Estados Unidos llevan la delantera en la producción; Europa se resiste y limita el uso y muchos países los prohíben. Por ejemplo, en 1997 se hicieron encuestas mundiales sobre alimentos transgénicos y mientras en Estados Unidos solo 14% pensaba que eran un serio riesgo, en Austria eran el 69%.

(1) Salud pública. Existen dos polémicas superpuestas: una so-

bre los alimentos transgénicos y otra sobre el uso de plaguicidas como glifosato. Varios cuerpos de expertos (AAAS y OMS) indican que los alimentos derivados de GMO son tan seguros como los naturales. Este es el "consenso" científico. Sin embargo, los argumentos no son suficientes para convencer a todos.

En 2012 se publicó un estudio donde las ratas alimentadas con maíz Monsanto desarrollaron tumores masivos en las mamas, daño renal y hepático. Además, vivieron menos que el grupo de control. Sin embargo, un año más tarde el estudio fue seriamente criticado por fallas en los experimentos y debido al uso de una sepa de ratas particularmente proclive a las reacciones positivas. Este caso es un modelo de una lucha donde se desea demostrar algo desde ambos lados del mostrador. Cuando se conoció este caso la ministra de Salud Pública de Kenia sufría de cancer de mama y prohibió los transgénicos. Otro estudio encontró que ratas, cerdos y salmones, alimentados con transgénicos tienden a la obesidad, con cambios en el sistema digestivo, hígado, riñones, páncreas, genitales, etc.

La Comisión Europea financió 130 proyectos (500 grupos de investigadores) para realizar evaluaciones toxicológicas de alimentos



Beneficios

- 10 veces más proteína
- 20 veces más fibra
- 4 veces más calcio
- 20 veces más hierro

En su vida

- 4 veces más proteína
- 20 veces más fibra
- 4 veces más calcio
- 20 veces más hierro

Conservación

- 4 veces más proteína
- 20 veces más fibra
- 4 veces más calcio
- 20 veces más hierro

1. RECOLECCIÓN DE PLASMIDOBLASTOS

2. CARACTERIZACIÓN Y MEJORAMIENTO

3. CREACIÓN DE NUEVOS CULTIVOS

MEJORAMIENTO

3131. Pérdida y conservación de biodiversidad alimentaria. Un grave problema de los organismos GMO es la propagación horizontal de genes hacia la población no transgénica. Por ejemplo, mediante la transferencia de polen con las abejas (arriba-izquierda). Las variedades comerciales de semillas se redujeron sensiblemente en el siglo XX. Por ejemplo, en Estados Unidos desde 1903 a 1983 las variedades de tomates se redujeron de 408 a 79 (derecha). Por esta razón se pone énfasis en mantener la diversidad. Se hacen esfuerzos para conservar semillas, plantas in-vitro y materiales crio-conservados (abajo-izquierda) para disponer de los genes en el futuro. Otra alternativa es mejorar las plantas autóctonas con el fin de lograr mejores características. Tal el caso del género *Mecardonia* que tiene interés ornamental y agronómico y que fue trabajado por el INTA (derecha).

transgénicos. Las mismas no dieron resultados positivos como para temer por su consumo. Parece no existir pruebas suficientes contra los transgénicos, aunque las pruebas podrían llegar mucho tiempo después, cuando la acumulación se hace evidente. Quizás el umbral de pruebas de laboratorio podría ser demasiado alto. El principal de los reclamos contra los transgénicos, desde el punto de vista biológico, es el pedido de mayor número de comprobaciones independientes y que se contrasten resultados de distintas fuentes. Algunos solicitan protocolos similares a los medicamentos. ¿Por qué pruebas independientes? Dicen que las investigaciones actuales son financiadas por la industria, se trata de científicos embebidos y condicionados por el sistema.

Una solicitud bien intencionada es que los alimentos transgénicos se identifiquen en la etiqueta del producto. En Europa es obligatorio cuando contienen más del 0,9% del producto proveniente de GMO. En Estados Unidos, en cambio, no es obligatorio porque se los considera iguales. Dicen que salvo la característica agregada (resistencia a una plaga) en el resto son idénticos. El etiquetado es la base de la elección libre y bien informada, y garantiza la trazabilidad a lo largo de la cadena de producción desde el campo hasta la mesa.

En la Argentina, los ambientalistas en la localidad Malvinas Argentinas (Córdoba), frenaron la instalación de la planta más importante de Monsanto de América Latina. El maíz transgénico es muy apreciado por el agro (84% de la producción de maíz) y el gobierno provincial apoyo el proyecto. Sin embargo, bajo la presión vecinal decidió cuestionar el estudio de impacto ambiental de la empresa sosteniendo que no aclaraba como se tratarían los desechos y las aguas contaminadas con agroquímicos. Monsanto negó los peligros, indicando que producirá lo mismo que la planta de Rojas (provincia de Buenos Aires) la que lleva 20 años de trabajo sin denuncias de contaminación. El principal problema son los agroquímicos, que según el INTA suman 300 millones de litros al año. El uso incorrecto de estos pesticidas es perjudicial para la salud. Monsanto responde que el glifosato está considerado por la OMS como Clase IV, que es el menor nivel de riesgo toxicológico. El problema puede ser la aplicación en dosis superiores a las sugeridas.

En el 2015 la IARC (*International Agency for Research Cancer*) publicó un trabajo que señala al glifosato como "probable cancerígeno en los humanos". Lo mismo indica para el malatión, un insecticida usado contra moscas y mosquitos. Lo que dice la IARC es que en ciertas circunstancias estos pesticidas podrían producir cáncer. Se basa en pruebas sobre como daña el ADN y como afectó a ratas de laboratorio. Sin embargo, se reconoce que no hay pruebas concluyentes que efectivamente lo haga si se utiliza con las medidas de seguridad recomendadas. También la quema de leña en chimeneas, la ingesta de mate caliente o los trabajos nocturnos se cataloga como probable cancerígeno. Los plaguicidas tienen efecto sobre quienes los aplican y las poblaciones vecinas, es casi imposible que llegue a los alimentos si están procesados. La IARC no tiene capacidad regulatoria, siendo la EPA (*Environmental Protection Agency*) quien se está ocupando de regular la situación jurídica de los plaguicidas en Estados Unidos.

(2) Soberanía alimentaria. En 1988 la Universidad de Harvard logró la primera patente de un organismo vivo. Era un ratón blanco que llevaba un gen humano cancerígeno. Un argumento de interés relacionado con los GMO es la gestión de patentes que obliga al pago de regalías que son necesarias para financiar la investigación. Es un hecho

que las patentes favorecen las inversiones en innovación. Por ejemplo, para asegurar la patente en los granos, las empresas utilizan recursos moleculares (tecnología Traidor) que vuelven estériles a las semillas y no permite la reutilización, lo cual impide que se guarde parte de la cosecha para sembrar en años sucesivos. Un tipo de semillas Traidor (tecnología de restricción de uso T-Gurt) incorporan un mecanismo que exige aplicaciones anuales de químicos para activar la característica deseada. La planta nace con el sistema inmunológico debilitado contra plagas y enfermedades y para recuperarlo requiere de químicos específicos. Estos inductores químicos están en manos de la empresa que tiene la patente. Un problema es que esta característica podría tener una transferencia a plantas no transgénicas e intoxicarlas.

La tecnología Traidor es objetada por los críticos (la llaman tecnología "terminator") diciendo que genera bioesclavos. Se refieren a esto como la "pérdida de la soberanía alimentaria" en manos de un puñado de multinacionales muy concentradas. Además, argumentan que los transgénicos no son una solución al hambre, ya que no está claro que tengan mayor productividad e incluso podrían tener menos. Pero, hoy día existen muchos desarrollos independientes de productos que desarman el oligopolio de las grandes multinacionales, muchos financiados por los mismos gobiernos. La competencia podría reducir los precios.

Los países desarrollados aceptan que los beneficios de las patentes superan a los costos, pero para los subdesarrollados esta ventaja no es tan evidente. La patente de genes que se encuentran en la naturaleza es muy criticada ya que se "descubren" pero no se "inventan". Cuando alguien compra algo es dueño de usarlo como quiera, pero la tecnología Traidor impide usar a la progenie. El argumento opuesto dice que si alguien reproduce un organismo vivo patentado es como copiar un invento y por eso estaría prohibido. Pero, ¿Qué pasa si se trata de levadura de cerveza? Carece de sentido comprar levadura que no se puede reproducir durante el proceso de fermentación.

Argentina: Gen HB4. El primer trigo transgénico con tecnología HB4 (desde 2016 en el mercado) fue desarrollado por el IAL (Instituto Agrobiotecnológico del Litoral) y el CCT (Centro Científico Tecnológico). Crearon semillas de trigo que recibieron un gen del girasol (Hahb-4) que le da tolerancia a la sequía y salinidad. Desde 1992 se trabajó en el aislamiento de genes de girasol y desde el 2001 con los genes de tolerancia a la sequía. Otros muchos genes podrían ser usados en el futuro. La patente se licenció en el 2004 a la empresa Bioceres, que se asoció con Florimond Desprez y constituyeron Trigall Genetics para desarrollar y comercializar las variedades del cereal. Los ensayos previos fueron largos e incluyeron la demostración de no-toxicidad, la equivalencia nutricional y la inocuidad para el ambiente.

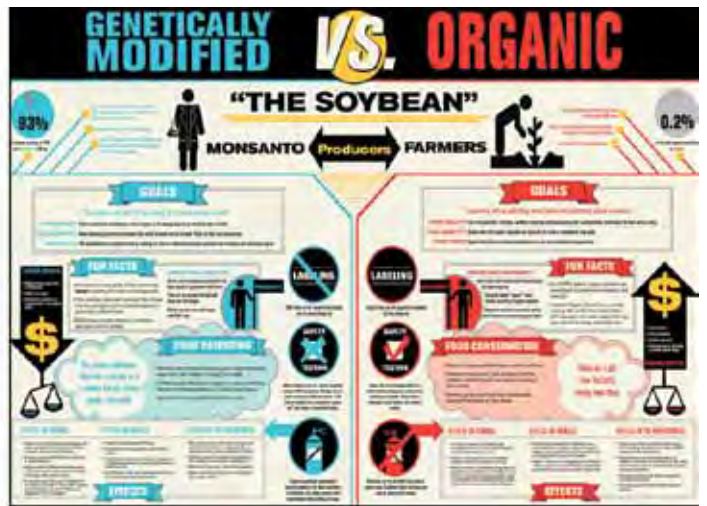
La tecnología HB4 demora la senescencia (envejecimiento) y mantiene la tasa fotosintética para generar mayor rendimiento en condiciones de déficit hídrico. En las regiones de mayor frecuencia de sequía (zona triguera argentina) el rendimiento se incrementará en un 15%. Los ensayos confirmaron que cuando se está en condiciones de producción inferiores a 2 t/ha (toneladas por hectárea) se obtiene la mayor diferencia, con incrementos del 25%. Además, la tecnología permite aumentar la productividad del cultivo en condiciones de salinidad; de forma que las plantas transgénicas registraron un 20% de reducción del rendimiento mientras que las normales disminuyeron el 80%. Este gen Hahb-4 también fue colocado en la soja y el maíz, aunque llegarán más tarde al mercado. Se trabaja en el aislamiento de genes para la obtención de etanol;

genes de acción combinada para tolerancia al congelamiento, sequía y salinidad; y también para mayor productividad combinado con tolerancia a inundaciones y sequías. Algunas de estas patentes ya fueron licenciadas por el CONICET y están en etapa de desarrollo.

La Facultad de Agronomía de la UBA informó que en el 2014 se logró una variedad transgénica del Pasto Miel (*Paspalum dilatatum*). Este tipo de pasto es nativo y muy bien adaptado a las zonas del Salado (Provincia de Buenos Aires) con épocas de sequías alternadas a otras de alta humedad. Mediante transgénesis se logró reducir la síntesis de lignina lo que hace al pasto más fácil de digerir por el ganado. Una reducción del 1% de lignina mejora en un 7% la digestividad y un 21% en la producción de carne o leche. Pero mientras algunos buscan reducir la cantidad de lignina para facilitar la digestión, otros buscan aumentarla para producir mejor madera y con mayor biomasa. Por otro lado, el INTA-Balcarce y la Universidad Nacional de San Martín informaron del nacimiento de una ternera con genes que producen leche con proteínas maternas humanas. De esta forma se podrá alimentar a infantes humanos que no tienen acceso a leche materna.

(3) Biodiversidad reducida. Los transgénicos implican una doble reducción de diversidad biológica: en la vida silvestre y en los alimentos (menor variantes de cultivos). Esto es una pérdida genética importante para la evolución natural de las especies. Las variedades de alimentos silvestres pueden acumularse en bancos de semillas o genes; en centros de investigación agrícola o en jardines botánicos. Existen riesgos al extraerlos de su lugar natural y que esos lugares no vuelvan a existir, poniendo en peligro la genética necesaria para el futuro.

Algunos agricultores orgánicos critican a los agricultores tradicionales por sus métodos de producción. Lo mejor parece ser una diversidad de agriculturas, manteniendo todo tipo de prácticas agrícolas, todas las formas y tamaños de granjas. Algunos prefieren producir productos agrícolas para un nicho de mercado (orgánico, natural), con una producción menor y un precio adicional. Otros prefieren la provisión local (en lugar de global) para ciudades cercanas. El desafío es convivir con los otros métodos de producción. La diversidad es una buena cosa en la agricultura ya que no hay dos fincas iguales y eso significa que operan de diferentes maneras. La elección de la comida es una



3132. Lo bueno y lo malo de los GMO. Las infografías nos muestran diferentes formas de evaluar los GMO. En la primera (arriba-izquierda) se hace un balance de lo bueno (reducción de uso de insecticidas; elevada productividad; mayores beneficios), lo malo (problemas de salud pública; dependencia del proveedor; genera superplagas) y lo feo (falta de transparencia; confusión y sensacionalismo). Una versión menos balanceada (derecha) enfrenta a la producción natural (el agricultor) con Monsanto, empresa que normalmente es el centro de los ataques. El principal enemigo de la producción agrícola industrial vía GMO es la agroecología o agricultura ecológica que aporta un punto de vista combativo (abajo-izquierda). La organización ISAAA (*International Service Acquisition Agribiotech Applications*) muestra los beneficios de la biotecnología también en forma parcial al punto de señalar que colabora a mitigar el cambio climático y reduce la huella de carbono, con argumentos discutibles.

cuestión personal, pero el miedo no es necesario para promover los productos o métodos de producción. El consumidor está interesado en escuchar la historia de la granja y cómo cuida los cultivos y ganado.

(4) Propagación genética. La pureza genética es importante para quienes eligieron la alimentación orgánica. Pero la propagación horizontal mediante la polinización vuelve imposible garantizar la "calidad" genética. Se estaría así afectando la elección de un grupo importante de personas. En el estado de Washington en el 2013 se reportó que al menos una partida de alfalfa para la exportación había sido contaminada con setas transgénicas. La contaminación se encontró al momento de analizar la genética de la partida ya que muchos países impiden la entrada de productos transgénicos. Como la alfalfa es polinizada por abejas, el riesgo de contaminación cruzada es muy alto. Un caso similar en Óregon (2013) sobre trigo fue más preocupante porque el transgénico no estaba autorizado y no se usaba desde el 2004. La única fuente posible del trigo GMO eran los campos experimentales que fueron desactivados 10 años atrás. Monsanto argumenta que este caso se trata de un sabotaje para dañar a la compañía.

Los genes pueden propagarse hacia los cultivos y desde las hierbas resistentes hacia otras. Se reportaron casos de especies de malas hierbas naturales que adoptaron cierta resistencia a los herbicidas por encontrarse en zonas cercanas al lugar de aplicación. Se trata de una propagación de resistencia a herbicidas. Esto podría perjudicar el suelo de campos vecinos con pérdida de fertilidad, reduciendo la productividad a mediano plazo. En los humanos podrían aparecer toxinas nuevas o bacterias patógenas de relevancia clínica.

Ya desde 2001 se sabe que genes de canola (nabo) transgénicos cultivados en Canadá se habían escapado de campos y se volvieron resistentes al glifosato. Algunos habían adquirido resistencia adicional a otros herbicidas mediante el cruzamiento. Para contrarrestarlo se realiza la rotación usando diferentes herbicidas lo que ayuda a acabar con las malezas resistentes. Una década después en Dakota del Norte se encontraron especies resistentes al glifosato y glufosinato (de Bayer). Como ninguna empresa había generado esta variante doble, indica que la resistencia fue pasada en forma natural y separada entre campos de canola de distinto proveedor (Monsanto y Bayer). Un estudio recolectó canola en 288 muestras de 631 sitios en bordes de carreteras. El 80% era del tipo GMO de uno u otro herbicida y el 0,7% tenía la resistencia a ambos. Esto impulsa a tener más cautela y estudios por el peligro de propagación a especies silvestres. También, se sabe que el girasol y remolacha GMO intercambian genes con especies silvestres.

Confirmado que los genes pueden propagarse por el polen. ¿Podrían propagarse por las heces? En Alemania se investigó si el maíz GMO que comen los cerdos puede llegar a germinar desde las heces. También se observó a jabalíes silvestres alimentarse de mazorcas transgénicas. El estudio determinó que no se encontraron granos intactos en las heces y los fragmentos germinables eran insignificantes. Sin embargo, distintas especies de animales y de alimentos transgénicos podrían reaccionar en forma diferente y perderse el control.

En el 2015 se reportó un caso natural y muy antiguo de propagación genética entre diferentes especies. Se analizó el ADN de especies comerciales y salvajes de batata (patata dulce) y se encontró material genético de *Agrobacterium*. Esta bacteria produce tumores en las plantas por intercambio de ADN y fue la base de inspiración

para la transgénesis. Esto prueba que existen mecanismos naturales y además estables (debido a la ubicuidad) de intercambio genético. En los GMO el intercambio ocurre pero sobre características añadidas a las plantas.

(5) La ética. Un primer aspecto moral en duda es el empleo de ADN de una especie extraña en otras y que se las destine al consumo humano. Algunos consideran a los GMO como organismos exóticos. Este argumento puede ir más allá: la ruptura del concepto de especie. Ya de por sí existen serias dificultades para definir una especie. Se puede hacer en base al aislamiento reproductivo; por la filogenia y evolución; por el ADN y la genética; o por el viejo método de la morfología. Pero ahora, la ciencia llegó a una cota crítica en nuestra relación con las demás especies. Sea por la pérdida genética de biodiversidad (la 6ta extinción), como por la ruptura de la separación entre especies o directamente la creación de otras nuevas. Las especies tienen un valor, aunque se discrepa de como medirlo, valorarlo y preservarlo. Algunos señalan que ese valor es independiente de quien las valora. Desde un punto de vista similar, se planteó que los organismos tienen derecho a la integridad, bienestar y no deben ser sometidos a daños. La modificación del material genético interfiere en su identidad, de forma que se deja de considerarlos un organismo vivo para manejarlas como máquinas químicas.

La ética es la clave de la conservación, sea *in-situ* (en el hábitat) o *ex-situ* (en zoo o bancos de semillas). La conservación tiende a impedir el ingreso de especies foráneas. Pero los organismos transgénicos se establecen como híbridos (la mezcla de material genético de diferentes especies) y quimeras (organismos con células de diferentes especies; tal el caso de la inyección de células madres o injerto de tejidos). La pregunta ética es: ¿corresponde la creación de organismos nuevos? Puede indicarse que este tipo de organismos se producen en forma natural, como en el intercambio genético con virus. Pero, muchos acontecimientos que son naturales (eutanacia o cópula forzada) son considerados abominables. Al contrario, el hecho que algo no se produzca en forma natural no quiere indicar que es cuestionable por la ética (p.e., la fabricación de un artefacto mecánico).

Un problema ético grave es cuando las acciones de unos afectan a otros (los costos y beneficios no son de los mismos actores). En la península de Yucatán (México) se encontró que 6 muestras de 9 colmenas contenían polen de soja transgénica. Un problema surge a la hora de exportar miel ya que los países europeos no aceptan transgénicos o reducen su valor económico. Se tienen implicancias sociales para los pequeños apicultores que llevan una economía de subsistencia y viven de los productos naturales. En el 2013 en la India se desató una polémica contra las berengenas GMO introducidas en Bangladesh. Los agricultores de subsistencia son el 84% de los hogares agrícolas y hay unas 100 variedades naturales de berengenas en India. Se cuestiona que la polinización cruzada entre países puede poner en riesgo las especies nativas y a la subsistencia de los agricultores. Se podría convertir en un problema de seguridad nacional.

Un estudio puso en evidencia la fuerza de la selección natural y lo importante que resulta debido a su estabilidad. Se trabajó con 58.046 moscas de la fruta (*Drosophila melanogaster*) en 40 generaciones, de forma que se seleccionaron para obtener una forma y tamaño del ala diferente al natural. En 26 generaciones se logró modificar el ala obtenida en 50 Ma de evolución natural. Sin embargo, cuando se detuvo la

selección artificial y se dejó a la selección natural seguir su curso, el ala volvió a la normalidad en sólo 15 generaciones. En la naturaleza, la forma y el tamaño de un ala son importantes para la aerodinámica, pero en laboratorio la aerodinámica no es crítica para la supervivencia.

La razón por la que el ala volvió al punto de partida quizás se debe a que se seleccionaron genes que afectaron negativamente otras características. Este estudio tiende a comprender los procesos que limitan la evolución y debería sumarse a los argumentos a reflexionar.

Los agroquímicos (i): ¿fitosanitarios o agrotóxicos?

Las plagas. Todo ser viviente corre riesgo de ser denominado plaga. Basta con que compita con los humanos, destruya la propiedad, propague enfermedades o provoque molestias. El término "plaguicida" sugiere (erróneamente) que las plagas son indeseables; que el plaguicida conoce la distinción entre la plaga y el resto de los seres vivos (imposible en los de amplio espectro, no selectivos) y que solo actúa cuando la plaga está presente (se propaga en el tiempo por persistencia debido a la lenta degradación). A los agroquímicos se los considera imprescindibles, pero tienen solo 50 años y la agricultura lleva 10.000 años, ¿cómo pudo subsistir la agricultura durante 9.950 años? El problema es el siguiente: en un campo para plantar soja, todo lo que no es soja es "maleza" (plaga vegetal), y debe quitarse porque sus raíces compiten con la soja y disminuye el rendimiento del lote. En un campo de soja, las plantas aisladas del trigo pueden ser consideradas malezas y viceversa. Por eso las malezas son centenares de especies y se multiplican las variedades y biotipos. En suma, la lucha contra las plagas es desigual.

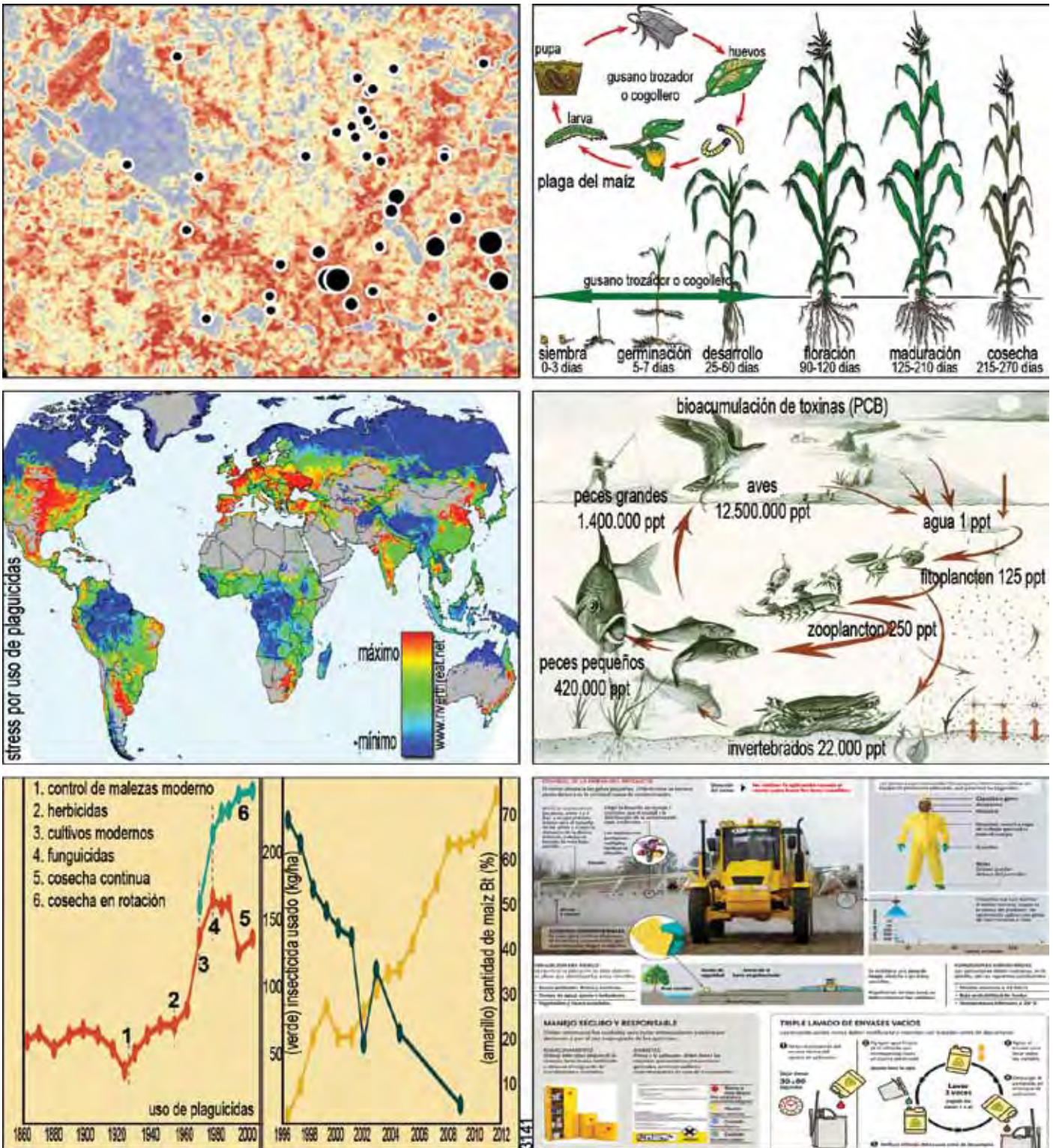
Los agroquímicos (llamados fitosanitarios o agrotóxicos, según el lado de la mesa) se presentan en grupos: (1) Los pesticidas como el DDT que atacan a los insectos, aves (palomas), mamíferos (ratas) o peces. Son poco selectivos pudiendo afectar a otras especies. Los insecticidas son el 33% del total de plaguicidas. (2) Los herbicidas como el glifosato que actúan contra vegetales no deseados ("malas hierbas o malezas"). Son compuestos nitrogenados y pueden infiltrarse en los acuíferos. Son el 40% del total. (3) Los desfoliantes que sirven para eliminar árboles de gran follaje. Son dioxinas o compuestos nitrogenados de elevada persistencia y que interfieren en la fotosíntesis. (4) Los bactericidas (antibióticos) controlan las bacterias en la cría de animales. (5) Los fungicidas evitan el desarrollo de los hongos que pueden atacar a otros organismos esenciales para el desarrollo vegetal. Representan el 10% del total de plaguicidas.

El control de plagas puede hacerse mediante componentes sintetizados (químicos industriales), de origen biológico o productos naturales. Están destinados a matar, repeler, atraer, regular o interrumpir el crecimiento de seres vivos. Las alternativas a los plaguicidas químicos sintéticos incluyen los controles biológicos (feromonas y pesticidas microbianos); sustancias naturales (tabaco) y la ingeniería genética (métodos de disrupción en la reproducción de insectos). Otra alternativa es el "manejo de malezas" que incluye: siembra de cultivos de cobertura, rotación de cultivos y remoción mecánica. Un ejemplo de bioinsumo para control natural de hongos en las semillas es el Rizoderma (desarrollado por INTA y Rizobacter). Se trata de un derivado de un microorganismo natural del suelo (*Trichoderma*) que controla los hongos que enferman las semillas de trigo. Evita eliminar la flora del suelo y solo la controla restaurando el equilibrio con lo que se logran rendimientos del 5% mayores.

Plagas resistentes o tolerantes. En los años `80 los plaguicidas fueron determinantes en la agricultura intensiva. Eran económicos y efectivos; se aplicaban en forma preventiva y aun sin plagas. Un estudio calculó que los agricultores ahorraron el equivalente de 4 veces el costo de los pesticidas y que el no usarlos resultaba en pérdidas del 10% de la cosecha. El herbicida 2,4D es el más antiguo y usado en todo el mundo y existen más de 1.500 fórmulas con 2,4D como ingrediente activo. Tiene bajo costo, es poco selectivo, de baja eficiencia y es tóxico. Fue desarrollado en Inglaterra durante la Segunda Guerra Mundial para el control de malezas de hojas anchas. Desde su introducción en 1946 se encontraron 29 especies de malezas resistentes (en 15 años el glifosato acumuló 21 especies resistentes). El herbicida 2,4D tienen 3 argumentos por los cuales puede resultar más efectivo que el glifosato: (1) tienen un modo de acción muy complejo y en varios puntos de las malezas. (2) la planta que genere una resistencia podría serle perjudicial en ausencia del herbicida. (3) el 2,4D se aplica en mezcla con otros herbicidas y no en forma pura.

La aplicación de herbicidas generó con el transcurso del tiempo los biotipos resistentes. Las malezas que mueren cuando se aplica herbicida se llaman susceptibles. Si el herbicida no afecta a ciertas malezas se las llama tolerantes. Si una maleza que era susceptible comienza a resistir la aplicación de herbicida se la llama resistente. Las malezas tolerantes son similar a la soja transgénica que también es tolerante a las dosis del herbicida. En cambio las malezas resistentes son individuos dentro la población de su especie que resisten la acción y pueden propagar esta característica. De esta forma tras varias generaciones pasan de ser una minoría a la mayoría. Por ejemplo, se registran a nivel global 309 biotipos de 183 especies que son malezas resistentes a diferentes herbicidas. Para el glifosato suman al menos 13 especies resistentes. La tolerancia suele generarse en los bordes del lote debajo del alambrado y luego se propaga. Cuando una maleza resiste dos o más herbicidas que tienen el mismo modo de acción se llaman de resistencia-cruzada. Si resisten dos o más herbicidas con diferente modo de acción se llaman de resistencia-múltiple. Existen cientos de principios activos (materia de origen natural o químico con actividad de medicamento) que se resumen en 16 modos de acción diferentes (p.e., inhibidores de enzimas, de fotosíntesis, de la división celular). Pero no basta con rotar los principios activos (químico y marca), sino que se requiere rotar los mecanismos de acción para el control de malezas.

Cuando aparecieron los GMO y los plaguicidas hermanados en 1996, parecía que la función del ingeniero agrónomo era reemplazada por el proveedor de semillas. Pero, a mediano plazo se mostraron perjudiciales para el ambiente e ineficaces en el control. Algunas plagas se han vuelto resistentes y surgieron nuevas obligando a adoptar estrategias combinadas y cambiantes. Además, existen otras consecuencias no deseadas. Por ejemplo, los ácaros son artrópodos pequeños de



3141. Las plagas y plaguicidas. Las plagas existen en zonas urbanas y en la agricultura. Por ejemplo, los brotes en zonas urbanas de artrópodos herbívoros se atribuyen a la falta de depredadores y parasitoides y al aumento del stress de las plantas urbanas. En la figura (arriba-izquierda) se muestra la correlación entre la temperatura de la ciudad y el insecto *P. quercifex* en árboles de roble en Raleigh (Carolina del Norte). El calentamiento global será un incentivo para el aumento de plagas en las ciudades. En la agricultura el gusano trozador o cogollero es una de las plagas que ataca al maíz en los 2 primeros meses de vida (derecha). Las zonas del planeta más afectadas por el uso de plaguicidas corresponden a las de explotación agrícola intensiva (centro-izquierda). Uno de los problemas del uso de plaguicidas es la salud pública representada por la bioacumulación de toxinas en la cadena trófica (derecha). Se mide en partes por trillón (ppt) de toxinas en cada paso de la cadena. El uso de plaguicidas (abajo-izquierda) se incrementó desde la II Guerra Mundial debido a la introducción de controles químicos. Pero, el uso de la variedad de maíz-Bt (que genera una proteína insecticida), permitió reducir la necesidad de aplicación de agroquímicos. Las curvas muestran la evolución en Estados Unidos del maíz-Bt y los insecticidas asociados. La polémica sobre el uso de plaguicidas se concentra en las áreas pobladas y las medidas para la prevención de riesgos en el personal que lo aplica y la comunidad (derecha).

la clase de las arañas y se alimentan de la sangre de las aves. Fueron fomentados por los plaguicidas, porque no abundaban con anterioridad a su aplicación. Como existen ácaros que se alimentan de vegetales, otros son parásitos o se alimentan de otros ácaros, es posible usarlos como un medio de control biológico. El conocimiento detallado permitiría controlar la plaga de insectos mediante ácaros.

Un extenso estudio de 355 lotes en el 2014 (para soja de primera o maíz tardío) permitió obtener buenas enseñanzas. Las malezas son muchas: se identificaron 158 especies de malezas, muchas de difícil identificación en campo. En cada sitio se identificaron problemas diferentes y magnitudes distintas, no hay una regla única. También se observaron fases de invasiones diferentes y espacialmente heterogéneas. Se lo describió como el dilema “el que busca, encuentra”; de forma que cuando buscamos un problema, lo vemos, mientras que si no lo buscamos, lo pasamos por alto. En la práctica funciona así: la fase de introducción de una maleza es dificultoso porque se asocia a especies que no se reconocen o con baja gravedad. Cuando vemos el problema es cuando estalla. También se encontró que conjuntos de malezas se organizan en comunidades o ensambles de diversas especies. Cuando se detecta una maleza, es probable encontrar un conjunto de especies asociadas antes que especies que pertenecen a otro grupo. En total, se identificaron cinco grandes asociaciones de malezas. Las comunidades dependen de la zona y la zonificación depende del ambiente, temperatura, régimen hídrico, sistemas de producción o labranza. Esto impide abordar distintas problemáticas con las mismas herramientas.

Para el 2015 los excesos hídricos en la Argentina alertaron por la aparición de hongos resistentes a los funguicidas. Las malas prácticas en el uso de funguicidas son varias. La sub-dosis (aplicar menor cantidad a lo recomendado) aumenta el riesgo de selección de cepas resistentes. Otra causa es la aplicación del mismo funguicida (falta de diversidad química) y los cambios en los intervalos de aplicación o la aplicación tardía. El FRAC (*Fungicide Resistance Action Committee*) considera a *Rumalaria* como un patógeno de alto riesgo a generar resistencia. En la Argentina se informó sobre fallas en el control mediante compuestos químicos triazoles sobre la roya en la hoja del trigo. Se recomienda la rotación de cultivos y funguicidas, la aplicación solo cuando es necesario y en las dosis correctas. Un desafío futuro es un monitoreo nacional que permita seguir la sensibilidad de cepas resistentes a cada principio activo, tal como se hace con las malezas.

Un problema que requiere de acciones naturales es la difusión de bacterias *E. coli* desde el área de ganado hacia la producción agrícola. El control de esta plagas natural puede ser: (1) mediante un cultivos de bajo riesgo colocados como buffer entre las tierras de pastoreo y de producción agrícola; (2) un cultivo no cosechable para filtrar patógenos desde escorrentías; (3) un alambrado para alejar el ganado de los arroyos o (4) ponerlos a mayor altura; (5) vacunación contra agentes patógenos; (6) crear humedales artificiales cerca de los corrales de engorde; (7) reducir el uso de bactericidas para generar una competencia entre otras bacterias y *E.coli*; (8) procesar compost para reponer materia natural en el suelo; (9) mantener la vida silvestre para una competencia natural.

El caso: “Amaranto” (*Amaranthus palmeri*). Esta hierba se está convirtiendo en una pesadilla. El amaranto resistente al glifosato se identificó en el 2005 en Georgia (Estados Unidos) y para el 2014 estaba en 24 estados. En el 2013 se informó de la presencia al sur de Córdoba

(Argentina), resistiendo a varios herbicidas en campos de soja. Esta especie importada de amaranto es una planta separada por sexo (masculina y femenina) lo que facilita la diversidad de genes para volverse resistente a los herbicidas. Es muy prolífica con hasta 500.000 semillas por planta. Tiene muchas formas de propagación: mediante el estiercol de las vacas o por las aves (por eso se inicia bajo los alambrados), la maquinaria agrícola que recorre varios campos en alquiler, los envases de fertilizantes y por el viento. Germina casi en cualquier momento, por lo que el glifosato aplicado en octubre es inútil en enero. Crece a razón de 2 cm al día y cuando supera los 10 cm los herbicidas pierden eficacia. Una alternativa de control es el uso de cóctel de varios químicos y rotación con uso de herbicidas diferentes; la remoción mecánica a mano y quema de las plantas; aplicar labranza profunda para enterrar las semillas; cultivar coberturas de centeno y preferir el cultivo de maíz en lugar de soja. Una vez esparcida puede llevar a la pérdida del 75% en el rendimiento de soja. La maquinaria agrícola debe ser cuidadosamente limpiada cuando cambia de campo, mediante el soplado de aire en áreas que no permitan germinar a las semillas.

El amaranto dista mucho de ser una “mala hierba”, ya que una de las especies de este género (kiwicha, en quechua) se usaba en el imperio maya e inca como alimento y se la consideraba sagrada por los poderes curativos. Se encontró en tumbas de 4.000 años y se estima que se usa desde hace 7.000 años. En la Argentina la primer gramínea resistente al glifosato fue el sorgo de alepo (*Sorghum halepense*), cuya denuncia es del 2005. En el 2015 se reportaron biotipos de sorgo de alepo con resistencia doble a glifosato y haloxifop. Este sorgo es originario de África y se introdujo en América en la época de la colonia. Se lo puede usar como forraje seco para alimentación de animales, pero en condiciones especiales genera una sustancia tóxica para las vacas que lo consumen fresco. Son altamente competitivas en climas extremos de forma que producen la pérdida del rendimiento de caña de azúcar o soja (más el 45%). La remoción mecánica es poco eficiente porque se reproducen por rizomas de forma que se puede cortar y vuelve a salir desde el suelo.

La salud pública. El mismo producto, aplicado de diferente forma, puede servir para la salud de los vegetales (“fitosanitarios”) o ser un veneno persistente (“agrotóxicos”). Casi la totalidad (más del 95%) de los insecticidas fumigados y herbicidas llegan a un destino diferente; como ser otras especies vegetales y animales, el aire, agua, sedimentos de ríos, mares y alimentos. Están diseñados para ciertas especies, pero actúan sobre muchas, aun las protegidas (abejas). Hoy se sabe que cada niño recién nacido lleva cerca de 300 sustancias fabricadas por el hombre ¿Cómo llegaron allí? En Santa Fé se encontró que la leche de algunas madres jóvenes tenían cantidades medibles de insecticidas clorados (DDT) que ya se habían prohibido antes que nacieran las madres. Estos insecticidas fueron aportados por la leche de las abuelas y estaban en las grasas de las madres. Con la lactancia estas grasas se pusieron en movimiento y ahora pasaban a los nietos.

Existe incertidumbre acerca de los efectos de la exposición prolongada humana a dosis bajas de plaguicidas. Los sistemas de supervisión actuales parecen ser inadecuados para definir los riesgos potenciales relacionados con el uso de plaguicidas. Los agroquímicos son sintéticos, el sistema inmunitario humano no los reconoce y la desintoxicación es lenta. Se usa casi 0,5 kg de plaguicidas químicos por habitante por año y muchos se acumulan en la cadena trófica. Los ensayos de laboratorio se concentran sobre los efectos letales, pero no llegan a

observar la toxicidad crónica por dosis pequeñas prolongadas. Algunos agroquímicos se promocionaron como “de baja toxicidad”; tal el caso de los piretroides, que fueron sintetizados para emular la piretrina natural obtenida del crisantemo (usado desde 1850). Pero lentamente se comprobó que tienen una alta toxicidad aguda y actúan a nivel del sistema nervioso. Los plaguicidas son tóxicos, sin embargo, los que defienden su aplicación dicen que todo lo bueno en exceso es tóxico. Por ejemplo, tomar más de 1,5 litros de agua por hora o 7,5 litros/día puede ser mortal porque se reduce la proporción de sodio en la sangre. Los plaguicidas deben ser usados en condiciones de máximo control.

Otro problema son los compuestos resultantes de la degradación de los agroquímicos. Por ejemplo, el Picloram es un herbicida que se usa en plantaciones de arroz y es poco tóxico para los peces. Pero un derivado de la degradación resulta muy tóxico. Además, la toxicidad se evalúa por cada compuesto separado, por ejemplo, el glifosato y el 2,4D. Sin embargo, no hay una evaluación del conjunto de ambos que se usa en plantaciones de arroz.

Limitación al uso. La resistencia que adquieren los insectos a los pesticidas obliga a utilizar otros pesticidas nuevos o el aumento de la dosis, lo que acelera la problemática. De esta forma, un beneficio inicial obliga a una cadena de acontecimientos que se transforma en un problema. Vistos como agrotóxicos son un veneno y además, adictivo: cada vez se necesita más dosis para lograr el mismo efecto. Vistos como fitosanitarios se reconoce la toxicidad, pero también los medicamentos humanos son tóxicos y no por ello se los llama homotóxicos.

En Arroyo Seco (provincia de Santa Fe) se llegó a un acuerdo entre la ciudad y los productores rurales para reducir el impacto de los agroquímicos. El SENASA (Servicio Nacional de Sanidad y Calidad Agroalimentaria) clasifica los agroquímicos según la toxicidad en banda roja, azul, amarilla y verde. En Arroyo Seco se prohibió el uso de productos banda roja (los más tóxicos); se restringió el uso de banda azul y amarilla (de media toxicidad) a más de 1.000 m de los asentamientos poblacionales y se autorizó solo los de banda verde (baja toxicidad). Una ordenanza del 2011 en Arequito (autodenominado “centro sojero del país”) prohíbe el uso de los agroquímicos más tóxicos. Además, el productor está obligado a informar con anterioridad la fumigación para que un veedor pueda comprobar el producto usado y la dirección del viento. El fabricante de agroquímicos SpeedAgro reaccionó y planteó un recurso judicial argumentando que un municipio no puede prohibir lo que SENASA aprueba. Pero, fue rechazado considerando que lo indicado por el SENASA es un “piso” de requerimientos.

La palabra “orgánico” llama a confusión ya que existen pesticidas orgánicos que pueden tener mayor impacto ambiental debido a que se aplican en cantidades mayores y son menos selectivos. Para saberlo, se estudió el efecto de insecticidas orgánicos y convencionales contra los áfidos de la soja. Los orgánicos eran de dos tipos: uno en base a aceite mineral que asfixia a los áfidos y otro que contiene hongos que infectan al insecto. Los parámetros de medición fueron: tasa de lixiviación en el suelo, toxicidad en la piel humana, en aves y peces, persistencia en el suelo y plantas, efectos sobre otros insectos benignos (selectividad). Como resultado los pesticidas orgánicos fueron menos eficientes y con un impacto ambiental mayor. Este tipo de ensayos muestra lo cuidadoso que se tiene que ser a la hora de inclinarse por productos solo por una denominación “amigable”.

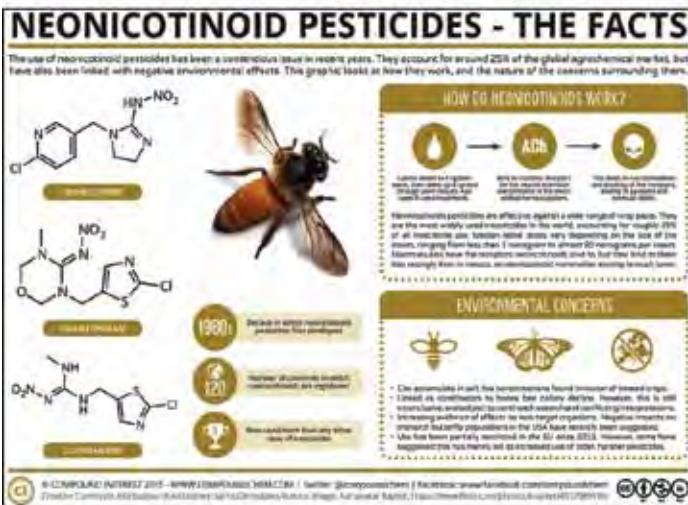
El caso: “Aguilucho Langostero”. Rachel Carson publicó en 1962 el libro “*Primavera silenciosa*” en referencia a la muerte de aves por el uso de insecticidas (DDT). Este libro dio lugar al movimiento ecologista y se lo considera uno de los 25 libros de divulgación científica más influyentes de todos los tiempos. El DDT es un compuesto organoclorado y desde los años `50 se usó fumigando las paredes de las casas para combatir la malaria. Se calcula que se salvaron 7 millones de vidas. Pero, en el 2007 se involucró al DDT con el cáncer de mama. Paralelamente, los insectos desarrollaron resistencias que se empezaron a notar en 1955. Ya en 1972 diecinueve especies de mosquitos eran resistentes al DDT. La toxicidad del DDT es un ejemplo de bioacumulación a lo largo de la cadena trófica, pudiendo producir envenenamiento.

En el verano 1995-96 se contaron en la Argentina más de 4.000 esqueletos de aguilucho langostero (*Buteo swainsoni*) muertos debido al uso de insecticidas para orugas a base de compuestos organofosforados. Estos aguiluchos anidan en América del Norte (desde México a Canadá) y migran a la Argentina durante el invierno boreal (siguen una ruta por Centroamérica y el borde oriental de los Andes). Habían sido anillados en Canadá y se cree que unos 20.000 en total murieron por acumulación de toxinas. Se alimentan en un 95% mediante una dieta de 100 tucuras por día (*Rhammatocerus pictus*, similares a langostas). La ingestión de insectos contaminados actúa a nivel nervioso produciendo inhibición en las sinapsis nerviosas y llevando a la parálisis, de forma que el aguilucho no puede respirar. En el conteo anual de noviembre del 2014 en Panamá se sumaron 911.000 ejemplares de aguiluchos en migración norte-sur. El circuito de migración pasa por Panamá donde se produce un cuello de botella entre continentes. El 2 de noviembre del 2014, luego de varios días de mal clima para que vuelen las aves migratorias, se produjo un “río” de 2,1 millones de aves (en su mayoría buitres y rapaces), de un total de 3,2 millones en toda la temporada de conteo.

Otro caso interesante ocurre en el campus de la Universidad Queen’s (Canadá). Los bencejos (aves insectívoras) han dejado una acumulación de excrementos (guano) por 50 años en una chimenea fuera de uso. Esto permitió hacer la correlación temporal entre el uso de DDT, la población de escarabajos (las víctimas) y de bencejos (los consumidores). La asociación entre la cantidad de DDT, poblaciones de escarabajos y bencejos, resultan evidentes.

El DDT, junto con otros contaminantes orgánicos persistentes, está prohibido por el Convenio de Estocolmo del 2001. Por ejemplo, en Centroamérica se sustituyó el DDT para controlar el paludismo mediante el uso de varias técnicas combinadas. Se trata del diagnóstico y tratamiento temprano; eliminación física de sitios de reproducción de mosquitos; uso de peces devoradores de larvas (eliminación biológica); eliminación de lugares de refugio de mosquitos mediante limpieza de casas y patios; uso de mosquiteros impregnados de insecticidas en las viviendas. En Mozambique se realizó un programa de relevamiento para quitar de circulación 330 t de plaguicidas y 30 t de DDT destinados a combatir el paludismo. Otro ejemplo donde los productos químicos afectan a una población de limpiadores naturales es el caso de los buitres de la India, afectados por el uso de diclofenaco.

El caso: “Abejas melíferas”. Un caso alarmante es el declive de abejas que, junto con el viento, son los mayores transportadores de polen. Representan una parte importante de la cadena alimenticia.



3142. Especies en peligro por agroquímicos. El primer caso se refiere a insecticidas como el DDT. Hacia 1950 se tenían avisos que señalaban las bondades del uso de DDT en la revista Time y Secto-DDT (arriba-izquierda). Pero, los insecticidas para langostas (tucuras) llevaron a una muerte generalizada de aguiluchos langosteros en 1995 (derecha). Otro caso, pero que lleva décadas sin solución, es la pérdida de panales de abejas cultivadas para miel (centro). El caso alertó a la comunidad científica en Estados Unidos y Europa, pero las causas no están claras y la reducción continua. Una infografía señala los efectos de los pesticidas neonicotinoides sobre la población de polinizadores naturales (izquierda). El tercer caso es la extinción de los buitres (abajo). Los buitres ofrecen un servicio ecosistémico invaluable: la limpieza de cadáveres y el control en la propagación de enfermedades. Por ejemplo, durante la lucha religiosa en Bengala-1946 entre hindúes y musulmanes (izquierda) los buitres contribuyeron con la eliminación de cadáveres. En el P.N. Serengeti (Tanzania) unos 500.000 ñues mueren al año y los buitres se encargaban de limpiar la llanura y los ríos; pero ahora los cadáveres se amontonan. En los últimos 20 años, los buitres declinaron por dos causas: los medicamentos (proviene de animales domésticos que son medicados con diclofenaco) y el veneno (usado para control de plagas o para matar buitres). En algunos lugares los buitres son cazados para evitar que se los use para detectar lugares de matanza de animales (en África por los cazadores furtivos de marfil). En África, los buitres disminuyeron un promedio de 62% en solo 3 generaciones (derecha).

En Inglaterra, en 70 años se extinguieron 2 especies de abejas y 6 están en peligro de extinción. El número de abejas se redujo a la mitad desde 1985 a 1997. En los Estados Unidos la alarma sonó en 2006 y se encontró que en casi todos los Estados se tenían reducciones de abejas melíferas (*Apis mellifera*); especie que fue adoptada por todos los apicultores. En el invierno del 2007 casi 1 millón de colonias de abejas murieron en Estados Unidos sobre un total de 2,4 millones y con extremos que llegaron al 90% de las colmenas. A esta merma se la llamó "Síndrome de Despoblamiento de Colmenas".

Hay cerca de 100 tipos de cultivos comerciales que son polinizados en forma natural por abejas y representan el 90% del alimento mundial. Se estimó que este servicio ecosistémico tiene un valor de 200.000 Mus\$. Se cuenta que Albert Einstein dijo: "si las abejas desaparecieran, a la humanidad sólo le quedarían cuatro años de vida". En Canadá, se está empezando a usar a las abejas para esparcir pesticidas orgánicos, otro servicio destacado de estos insectos. Cuando salen del panal se le obliga a caminar sobre plaguicidas, de forma que lo llevan para las plantas y traen el polen. Por ejemplo, pueden llevar el hongo *B. bassiana* que controla la población de moscas y termitas. En California se produce el 82% de las almendras del mundo y tiene que importar abejas para polinizar la floración en un negocio de 2.300 Mus\$. Cerca del 50% de las abejas de Estados Unidos trabajan en California en 1,6 millones de colonias. Se puede afirmar que la crisis de las abejas es una crisis de salud humana.

La disminución de abejas tiene varios sospechosos. (1) Podrían ser envenenadas por polen de origen transgénico. Pero, ya se había probado que el gen Bt, que produce la toxina insecticida, solo actúa sobre orugas, mosquitos y ciertos escarabajos. (2) Otra posibilidad son los plaguicidas. Como una acción desesperada en 2013 se prohibió en Europa el uso de diferentes plaguicidas de Syngenta, Bayer y BASF. Las compañías químicas reaccionaron y entablaron una batalla

legal. Si bien los plaguicidas no parecen ser los culpables directos, pueden debilitar la salud de las colonias. (3) Otra alternativa es la desnutrición por reducción de diversidad de flores, por considerarlas "malas hierbas" o la eliminación de setos naturales. (4) Quizás sea el ataque de virus, bacterias u hongos. Los ácaros constituyen una plaga común, pero no aparecen como la primera causa. Algunas colonias tenían hongos unicelulares, pero en cantidades bajas como para ser considerados letales. Un virus que provoca parálisis aguda estaba presente en las numerosas colonias afectadas y podría ser el desencadenante. (5) También se observó que la contaminación de motores diésel reduce la capacidad olfativa para reconocer diferentes flores. El olfato les sirve para orientación y búsqueda de alimento y la pérdida temporal puede llevar a que no puedan volver a la colmena, produciendo el "despoblamiento". (6) Otra evidencia verificó que las abejas prefieren alimentos contaminados con insecticidas derivados de la nicotina. Es probable que los neonicotinoides (compuestos químicos similares a nicotina) se vuelven una droga para las abejas de forma similar al cerebro humano, y podrían perder la orientación de forma que no retornan a la colmena. Por ejemplo, más del 70% de las muestras de polen y miel recogidas de forrajeo en Massachusetts contenía neonicotinoides. (se analizaron 219 muestras de polen y 53 muestras de miel de 62 colmenas en 10 condados). Los neonicotinoides son pesticidas de Bayer y se estima que se usa en el 90% de las plantaciones de maíz. El pesticida en cuestión (Sulfoxaflor) fue aprobado en el 2000 para la aplicación en maíz en Estados Unidos y un fallo judicial lo prohibió en el 2015.

En suma, todo parece indicar que hay varias causas y que se requiere reestablecer el equilibrio en el hábitat con la biodiversidad de plantas y flores y para distintas épocas del año. Los plaguicidas podrían no matar, pero es una causa de stress y de la reducción de las defensas. La solución es resbaladiza y el problema está lejos de estar bajo control.

Los agroquímicos (ii): los fertilizantes

Los componentes básicos de la vida (carbono, hidrógeno y oxígeno) pasan fácilmente desde el aire y agua a los tejidos vivos. Pero otros están firmemente guardados y deben ser añadidos. Los fertilizantes son nutrientes asimilables por las raíces de las plantas que se adicionan al contenido natural del suelo. Las plantas no necesitan compuestos complejos (vitaminas o aminoácidos como los animales) pero requieren una docena de elementos químicos, que pueden incluso proveerse por hidroponía (cultivo sin suelo). En 1847 se encontró que estos nutrientes podían aplicarse en forma mineral y así se pusieron las bases de la industria de fertilizantes. La agricultura es una industria extractiva como la minería, pero se diferencia en que es renovable si se reponen los nutrientes básicos. El problema es desde donde se obtienen estos nutrientes que se reponen.

Los fertilizantes son críticos para lograr buena productividad agrícola. Por ejemplo, la disponibilidad de nitrógeno determina el tamaño de la planta y la cantidad de proteínas en los granos; del nivel de proteínas depende que una cebada sea útil para destilación (cerveza, whisky o ginebra) o se destine para forraje (alimentación de

animales). El exceso de fertilizantes puede tener un impacto negativo en el ambiente. En 1950 se usaron 14 Mt (millones de toneladas) de fertilizantes; en 1988 se llegó a 144 Mt y en el 2010 a 180 Mt. Estados Unidos es el mayor productor de granos pero solo usa 20 Mt de fertilizantes, cuando China usa 50 Mt. Esto se debe a que producen mucha soja, una leguminosa que fija el nitrógeno. Además disponen de una tecnología superior de racionamiento en la aplicación de fertilizantes.

En el mundo el 50% de la producción de alimentos se realiza con el aporte de fertilizantes, pero en la Argentina el aporte es mucho menor. La razón es porque en la Argentina se cultiva principalmente soja, que obtiene el nitrógeno de la atmósfera por fijación biológica y responde poco a nutrientes como fósforo y azufre. Esta independencia de la soja no se repite en cultivos como el maíz, trigo y arroz. Sin embargo, el problema aparece por sembrar monocultivos. Se estima que si se dejara de fertilizar en campos de soja se perdería solo un 15% de la producción, aunque a largo plazo se perdería más por los problemas de falta de biodiversidad.

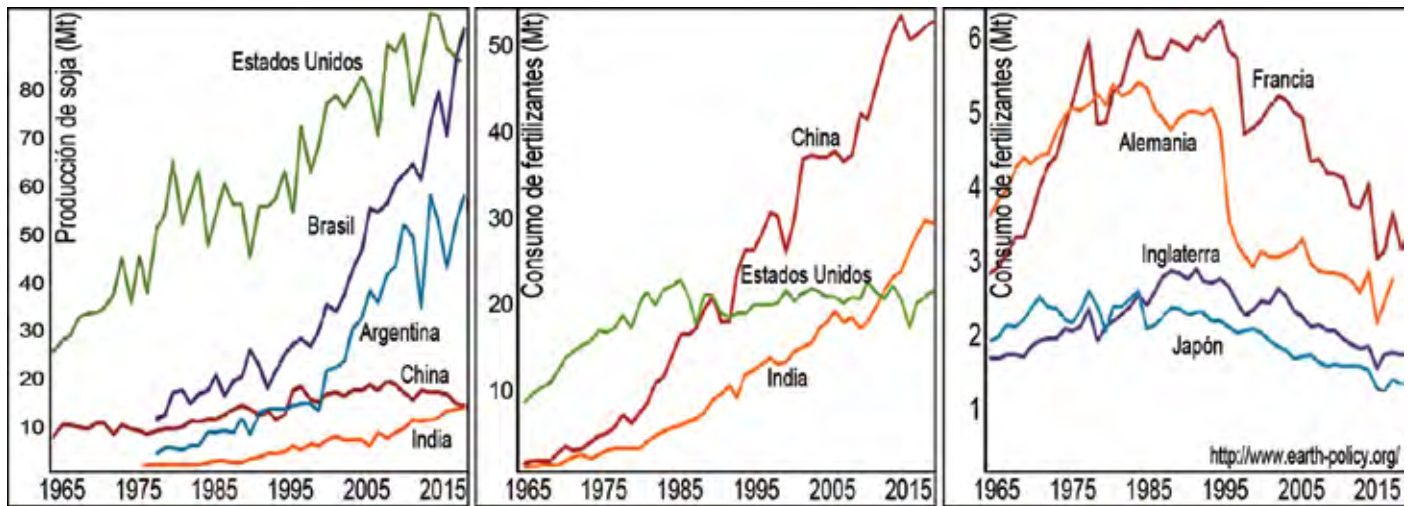
Nitrógeno: alto riesgo. El nitrógeno, potasio y fósforo son los fertilizantes básicos (llamados macronutrientes). Por ejemplo, el trigo absorbe 30 kg de nitrógeno, 19 kg de potasio y 5 kg de fósforo para formar una tonelada de plantas; pero además necesita otros micronutrientes: calcio 3 kg, manganeso 4 kg, azufre 5 kg (más hierro, manganeso, cinc, cobre, silicio, etc), los que regularmente no se reponen en el suelo. El gas nitrógeno (N_2) ocupa el 78% de la tropósfera, pero es muy estable y poco reactivo. Solo las cianobacterias (en el suelo y agua) y *Rhizobium* (en las raíces de algunas plantas) lo absorben y fijan en una molécula utilizable. Primero se convierte en nitritos (NO_2) y luego en nitratos (NO_3), de forma que las plantas pueden absorberlo como un nutriente y pasan a formar parte de la estructura de los vegetales. Siguiendo la cadena trófica, los animales devuelven el nitrógeno como amoníaco (NH_3), ácido nítrico (HNO_3) o urea ($CO(NH_2)_2$). Es el resultado del procesamiento del sistema digestivo-urinario. Desde allí puede retornar a los vegetales o la atmósfera.

La actividad humana trastocó el ciclo de nitrógeno mediante el agregado de fertilizantes y el consumo de combustibles fósiles. Cuando se utiliza combustible fósil se emiten compuestos que finalizan como

ácido nítrico (HNO_3) y luego da lugar a la lluvia ácida. En la agricultura, los fertilizantes emiten óxido nitroso (N_2O), un gas que perjudica la capa de ozono y actúa sobre el calentamiento global. El N_2O es 300 veces más potente que el CO_2 .

Mientras el carbono se extrae de las reservas fósiles (hidrocarburos) y se libera en la atmósfera (CO_2), el nitrógeno se acumula en el suelo y agua. El nitrógeno en el suelo es muy reactivo y móvil; y solo una fracción (15%) llega a los alimentos. El exceso se escapa y puede producir eutrofización y contaminar el agua freática. El control requiere una aplicación eficiente y reducir la contaminación producida por los desperdicios. Es un caso típico de "demasiado de algo bueno", que se transforma en contaminante. La alteración del ciclo de nitrógeno durará por décadas o siglos y la forma de mitigarlo es mediante rotación de cultivos; optimizar en el uso de fertilizantes e incluso el uso de plantas transgénicas que aumenten la eficiencia en el uso de nitrógeno.

Fósforo: peligro de extinción. Alguien dijo "el fósforo será el primer elemento químico de la tabla periódica que ingresará en la Lista Roja de Peligro de Extinción". La "ley de los mínimos" afirma que la



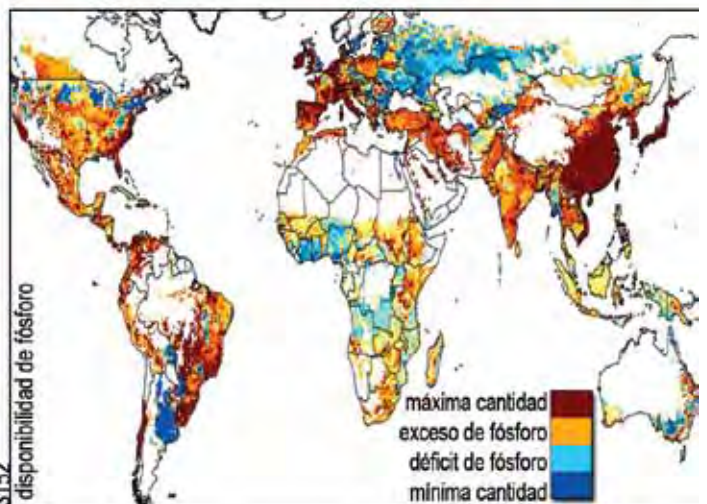
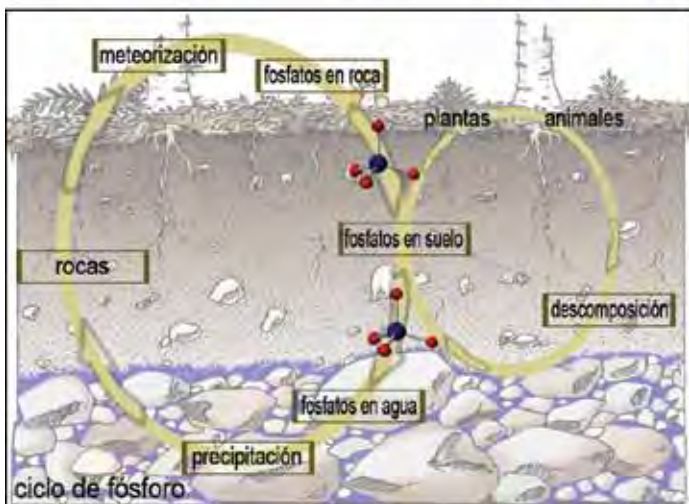
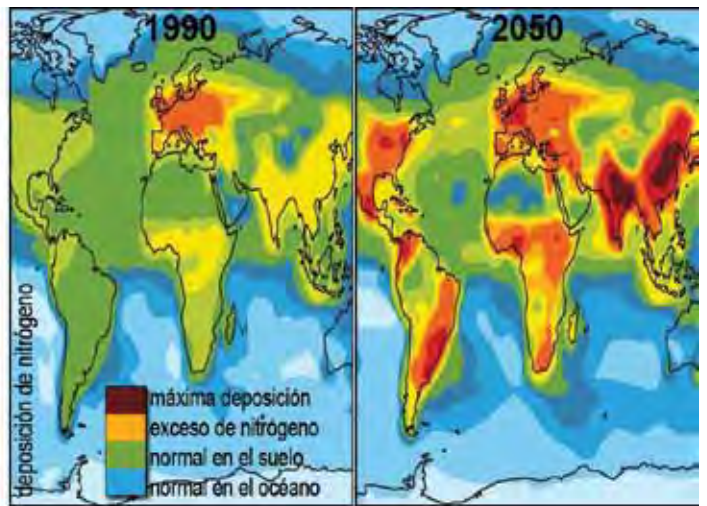
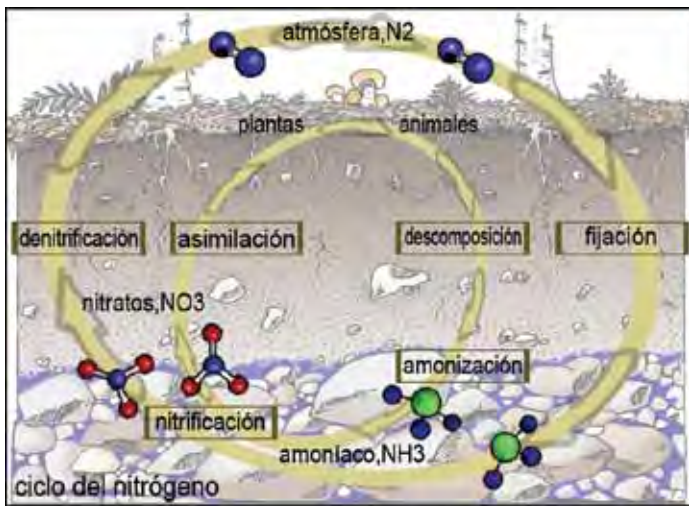
3151. Los fertilizantes. La producción de soja creció en los últimos 50 años en todo el planeta (arriba-izquierda), pero la aplicación de fertilizantes en algunos países parece estar fuera de control. En China e India (centro) el consumo en toneladas no se relaciona con la producción. En tanto, algunos países disminuyen el total de fertilizantes (derecha). Los macronutrientes más importantes son el nitrógeno y fósforo y los estudios en la Argentina muestran que la pérdida supera a la reposición de nutrientes, porque el suelo es un recurso natural que se sobre-explota. Por ejemplo, el estudio del INTA en la cuenca del arroyo Pergamino indica la pérdida neta de nitrógeno y fósforo medida en kilogramos de nutrientes por hectárea y por año (abajo-izquierda). Así, un aporte promedio de +26 kg/ha/año de nitrógeno se corresponde con una pérdida de 99 kg/ha/año (3 en emisión de gases; 5 en lixiviación al suelo; 6 en escorrentía a los arroyos y 85 en los granos). La falta de fertilizantes se traduce en pérdidas de calidad o cantidad en los cultivos (derecha).

producción de una cosecha está fijada por el nutriente que esté en menor cantidad. La primera fuente de fósforo era el guano, en especial en el Pacífico y la costa del Perú. Hacia 1850 se encontró que el ácido fosfórico era necesario para las plantas y que se podría obtener desde los huesos tratados con ácido sulfúrico. Esto desencadenó un período de búsqueda de enterramientos masivos. Hoy día la producción mayor es desde rocas que fueron depósitos de seres vivos en el mar. El 85% de las reservas de fósforo está concentrada en 3 países, donde Marruecos es el principal. Se espera el pico de producción para el 2035 y luego la caída. Las pocas reservas mundiales tomarán un valor estratégico con posibles conflictos por los recursos naturales.

El ciclo de fósforo es mucho más lento que el nitrógeno porque involucra a las rocas (ciclo geoquímico). La meteorización natural de las rocas aporta fosfatos (derivados de PO_4), que los vegetales incorporan en su crecimiento ingresando en la cadena alimentaria. Los animales lo excretan y vuelven al ciclo mediante el suelo. El fosfato que se escapa de este ciclo llega al mar y si no es consumido por el plancton, se

precipita en el fondo del océano volviendo al ciclo geológico mediante las rocas. El fósforo es muy escaso en los suelos; así que para obtenerlo como abono se extrae desde minas y se utiliza como aporte externo para la agricultura. El exceso se lava con las lluvias y contamina el agua en arroyos y humedales, estimulando el crecimiento de algas y cianobacterias tóxicas.

Un proceso que desbalancea el ciclo es el desmonte previo a la agricultura. El fósforo se encuentra en las plantas y casi nada en el suelo. Cuando se eliminan las plantas, se retiran los troncos o se queman, el fósforo es lavado por las lluvias y se pierde del terreno. Termina en los ríos y lagos donde funciona como alimento para algas o escurren al mar y se depositan y pierden. El fósforo es muy importante para la vida, es básico en algunos aminoácidos y en la molécula de ATP (adenosin trifosfato). El ATP funciona como una batería recargable móvil: cuando está descargada es ADP (con 2 fósforos) y cuando está cargada es ATP (con 3 fósforos). Cuando la molécula capta energía pasa de ADP a ATP y cuando la entrega pasa de ATP a ADP. En ausencia



3152. Ciclo del nitrógeno y fósforo. El ciclo del nitrógeno se desarrolla en la atmósfera, suelo y seres vivos (centro-izquierda). La "fijación" de nitrógeno (absorción de N_2 de la atmósfera) lo realizan ciertos hongos especializados en las raíces. En el presente, el exceso de nitrógeno en el suelo y el agua es el principal problema de contaminación. A futuro se espera un incremento adicional de nitrógeno (derecha). En cambio, el ciclo de fósforo parte de las rocas y llega al suelo, seres vivos y el agua, desde donde vuelve al ciclo de las rocas (abajo-izquierda). Es un ciclo muy lento y el fósforo adicional debe obtenerse desde la minería. A nivel mundial algunas regiones conservan mejor que otras la administración del fósforo. Por ejemplo, mientras China tiene un máximo en exceso de fósforo en el suelo (producto de la fertilización), en la Argentina hay un déficit por falta de fertilización (derecha). El fósforo se vuelve un recurso escaso debido a la baja disponibilidad de reservas mineras. Los cereales (trigo, maíz) consumen entre 20-30 kg/t de nitrógeno en la planta y entregan 15-20 kg/t en los granos. Para el fósforo absorben 4-5 kg/t y entregan 3-4 kg/t en los granos. En el caso de la soja se absorben 75 kg/t de nitrógeno y 7 kg/t de fósforo y entregan 55 y 6 kg/t en los granos.

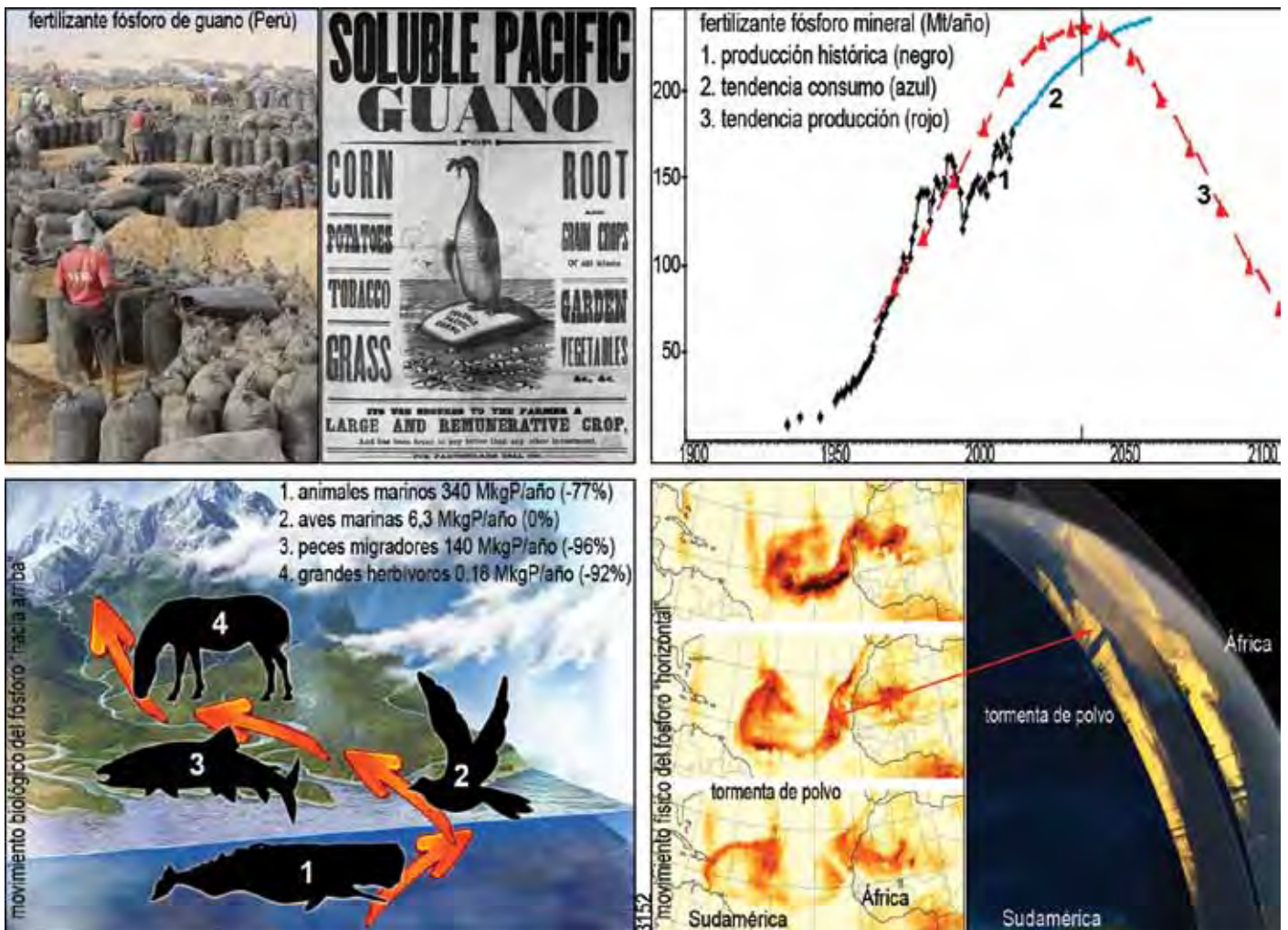
de fósforo este simple sistema se resiente y el organismo viviente no puede crecer. Una molécula de glucosa puede cargar a 36 ADP (libera además 6 moléculas de CO_2) y tiene una densidad de energía de 10 calorías por gramo.

Por ejemplo, en Noruega un tercio del fósforo se lo usa en la acuicultura (9 kt/año). Pero, mientras el estiércol en los campos agrícolas se reutiliza en parte, casi la totalidad de los residuos de los peces y piensos terminan en el océano. El fósforo es un fertilizante químico contaminante que produce eutrofización, junto con el nitrógeno. El problema es gestionar el consumo mediante la reducción en el uso y el reciclado. Exigir el reciclaje del fósforo será todo un desafío para la acuicultura.

Problemas de los fertilizantes. La producción de fertilizantes se realiza mediante transformación de compuestos orgánicos (composta-

je) e inorgánicos (minerales). Los abonos inorgánicos están fabricados por medios industriales, por ejemplo los nitrogenados derivados del petróleo o minerales obtenidos de la minería (fosfato, potasio, calcio o zinc). Los abonos orgánicos provienen de animales, restos vegetales y otras fuentes naturales. Hay bastante variedad de fertilizantes orgánicos, algunos apropiados para hidroponía. Pueden ser de efecto lento (como el estiércol) o rápido (como la orina o las cenizas), o una combinación. Se pueden usar excrementos de animales; compost elaborado con materia vegetal o basura orgánica; humus de lombriz (materia orgánica descompuesta por lombrices); cenizas (si proceden de madera); huesos de frutas (contienen mucho potasio y carecen de metales pesados); resaca (sedimento de ríos no contaminado); etc.

El uso de abono orgánico aumentó mucho debido a la demanda de alimentos frescos y sanos para el consumo humano. Los fertilizan-



3153. El problema del fósforo. Hace dos siglos la fuente de fósforo era el guano (arriba-izquierda) obtenido en Perú desde reservas que datan de hasta 5 Ma (son sólidos como rocas). Se explotó desde 1845 hasta nuestros días, período durante el cual se saquearon las reservas en innumerables islas de todo el planeta. La fuente más importante hoy día es la mineral. Se espera llegar al máximo de producción de fósforo en el 2035 (derecha) y desde allí la fertilización se encontrará con el límite minero. El ciclo natural del fósforo es desde las rocas hacia el océano ("arriba-hacia-abajo"), pero los seres vivos lo transportan "abajo-hacia-arriba" (abajo-izquierda). En la figura se indica la cantidad de fósforo transportado al año y el porcentaje perdido desde hace 10.000 años. Los animales son una "bomba de distribución" y hace 10.000 años existían 10 veces más ballenas, 20 veces más peces anádromos (salmón), el doble de aves marinas y 10 veces más grandes herbívoros (perezosos gigantes, mastodontes, etc.) Los grandes animales liberan nutrientes lejos de las áreas de alimentación mediante las heces, orina y la muerte. La tracción animal para distribuir nutrientes puede haber caído al 6% del valor prehistórico. Hoy hay muchas vacas, pero están en corrales. Un caso de interés son los nutrientes del Sahara que forman un transporte "horizontal" que alimenta al Amazonas (derecha). Si el Sahara estuviera forestado, las tormentas de polvo serían imposibles y el Amazonas se encontraría exhausto por las pérdidas de minerales en los ríos. El mapa codificado a color muestra la concentración de los aerosoles a lo largo de 3 días sobre el Atlántico. Las nubes de polvo (marrón claro) se mueven levemente al norte del Ecuador y se observan mediante instrumentos satelitales de barrido que facilitan el seguimiento. Este aporte mineral llega a las islas del Caribe y al sur de Norteamérica.

tes orgánicos permiten aprovechar residuos recuperando la materia del suelo. Mejoran la capacidad de absorber agua y necesitan menos energía para su elaboración. A cambio, los fertilizantes orgánicos pueden ser fuente de patógenos, si no están adecuadamente tratados.

Los fertilizantes inorgánicos o sales minerales, suelen ser más baratos y con dosis más precisas y más concentradas. Sin embargo, salvo en cultivos hidropónicos, siempre es conveniente añadir abonos orgánicos para reponer algo de la materia del suelo que se llevan las cosechas. Los fertilizantes inorgánicos en exceso provocan la eutrofización en los acuíferos; degradan la vida en el suelo y matan microorganismos que generan nutrientes para las plantas; necesitan más energía para su fabricación y transporte; y generan cierta dependencia del agricultor hacia el suministrador del fertilizante.

En la Argentina hay depósitos de rocas fosfáticas pero de baja calidad y en áreas remotas. Por esto se importan tanto el fosfato como el potasio. Un emprendimiento minero para producción de potasio en la zona de Malargüe (Mendoza) fue suspendido en su etapa inicial en el 2013. La empresa Vale de Brasil comenzó las obras de minería con una inversión estimada en 6.000 Mus\$ y se suspendió por varias razones (inflación, cambio de valor dólar, imposibilidad de remitir dividendos, corrupción, etc). La mina debía producir potasio en el Río Colorado para abastecer de fertilizantes a la industria agrícola de Brasil. En el manejo de fertilizantes en la Argentina participan organismos estatales (INTA, CONICET), empresariales (Aacrea, AAPRESID) y cooperativas (Aca).

El caso: "fertilizantes del Sahara". Hace 150 Ma África y Sudamérica estaban unidas y se separaron. Hoy día siguen unidas de alguna manera. El Amazonas y el Caribe es alimentado con fertilizantes desde las arenas del Sahara en forma natural. Las tormentas de arena del Sahara mueven 770 Mt de polvo al año; es la mitad de todo el polvo llevado a la atmósfera en forma natural en el planeta. Los vientos alisios que cruzan el Atlántico transportan 27,7 Mt de aerosoles (el 4% del total), de los cuales 22.000 t son

de fósforo. Las partículas se mueven a 5-7 km de altura, en una masa de aire muy caliente y con 3% de humedad. Tardan 6 días en su recorrido desde África hasta Sudamérica. Así es como la esteril norte de África alimenta al exuberante Amazonas; cosa que solo es posible gracias a la desertificación. En el Amazonas el balance anual de fósforo queda cerrado con las pérdidas que se llevan los ríos hacia el Atlántico. Sin este aporte transoceánico los suelos del Amazonas estarían exhaustos y con poca fertilidad. El estudio de la turba en los Everglades (Florida) muestra que este polvo está llegando desde África hace miles de años. Las islas del Caribe serían rocas muertas sin el aporte de nutrientes desde el Sahara. Al sur del Amazonas no llega esta nube de polvo y la región de Mato Grosso se pudo convertir a la agricultura de soja gracias a la aplicación de fósforo exterior, sin esto sería improductiva.

Las tormentas de polvo absorben radiación solar y enfrían el océano, lo que impide la formación de tormentas de lluvia y favorecen las sequías. En Chad está la depresión de Bodélé, un lecho de lago cargado de microorganismos muertos que retienen fósforo. Este lugar ha sido estudiado para medir el aporte anual de fósforo al Amazonas. El aumento de precipitaciones en el Sahel (tierra semiárida al sur del Sahara) produce una reducción en el polvo que cruza el Atlántico. Las mismas tormentas de polvo llevan hierro hasta el Caribe y alimentan a los organismos del plancton que producen carbonato de calcio. Se trata de las cianobacterias que fijan el nitrógeno y consumen mucho hierro (10 veces más que otros fotosintetizadores). La deposición de estos caparzones dio lugar a islas como el banco de las Bahamas que demoraron 100 Ma en establecerse.

El mismo polvo que proviene desde África en la Isla de Guadalupe eleva los niveles de contaminación de origen natural por encima de los medidos en la Europa Industrial, según umbrales de la OMS. Llevan nutrientes, sal, bacterias y hongos que pueden ser un problema sanitario, produciendo alergias y crisis asmáticas en el Caribe. Las partículas son muy pequeñas y llegan a los pulmones y la mucosa.

Buenas prácticas para una agricultura sustentable

En los ítems anteriores se puso en evidencia la dicotomía de opiniones sobre los pilares de la agricultura intensiva: los transgénicos y los agroquímicos. Los objetores de la agricultura intensiva generaron varias alternativas que se manifiestan en la propiedad de la tierra (pequeños propietarios o sistemas comunitarios); en las condiciones climáticas o naturales (calidad del suelo desfavorable para sistemas intensivos); el deseo de protección del ambiente o la restauración del suelo; la lucha contra la erosión y desertificación; etc. Por ejemplo, la agricultura ecológica se declara como un sistema global de gestión de producción extensiva, sus objetivos son: la salud del agrosistema; la diversidad biológica; los ciclos y actividad biológica del suelo; el mejoramiento de las condiciones de vida de los agricultores (agricultura sustentable). Otros nombres asociados con la misma filosofía son la agricultura biodinámica, la permacultura, agricultura orgánica, ecológica o natural; y la agricultura indígena, familiar o campesina. Se busca el equilibrio con el ecosistema mediante técnicas ancestrales que se mantienen a lo largo del tiempo en distintas regiones del mundo.

No existe una división clara entre agricultura intensiva y las naturales porque cada una necesita de herramientas de la otra. La intensiva tiene que volverse sustentable (demostrar que pueden perdurar los elevados rendimientos sin extinguir el suelo) y las naturales deben probar que son capaces de alimentar al planeta. Organismos como el INTA ayudan en esta tarea ya que se hacen eco de las diversas alternativas, a lo que puede semarse la reciente Red BPA (Red de Buenas Prácticas Agrícolas). Lo que sigue son algunos principios de la agricultura sustentable, que adapta las técnicas intensivas con herramientas ecológicas. No hay una única y concensuada Guía de Buenas Prácticas, pero si se observan tendencias generales que se adaptan a cada clima, terreno, cultivo, extensión de explotación, etc. Más adelante se trata la sustentabilidad de la gandería (pecuaria), silvicultura (bosques) y pesca.

(1) Un suelo natural y vivo. El suelo es trabajado en forma permanente por los microorganismos; las raíces exploran en busca de agua y nutrientes; las lombrices, insectos y roedores hacen galerías;

otros con sus exudaciones y residuos ayudan a unir las partículas de arcilla y humus. Si la planta tiene raíces profundas (alfalfa) extraen nutrientes inaccesibles. Los medios biológicos naturales no apelmazan el suelo como lo hace la maquinaria rural. El suelo se protege con una capa vegetal residual de la cosecha que trabaja de acolchado y cobertura. El sol no llega a secar el terreno y sirve de protección a los microorganismos. Las plantas adventicias (malas hierbas) hospedan a los insectos, absorben nitrógeno y lo devuelven al convertirse en compost.

Una agricultura sustentable debe cuidar este suelo y compensar las pérdidas de nutrientes con recursos renovables de origen agrícola, evitando el uso de fertilizantes sintéticos y el derroche por mala aplicación. Los fertilizantes orgánicos (compost, estiércol, abono verde) se combinarán con una mayor biodiversidad en especies cultivadas y la conservación de la vegetación circundante. A veces es necesario añadir a los suelos elementos de procedencia externa mineral (potasio, fósforo, calcio, magnesio), pero debería ser en forma esporádica.

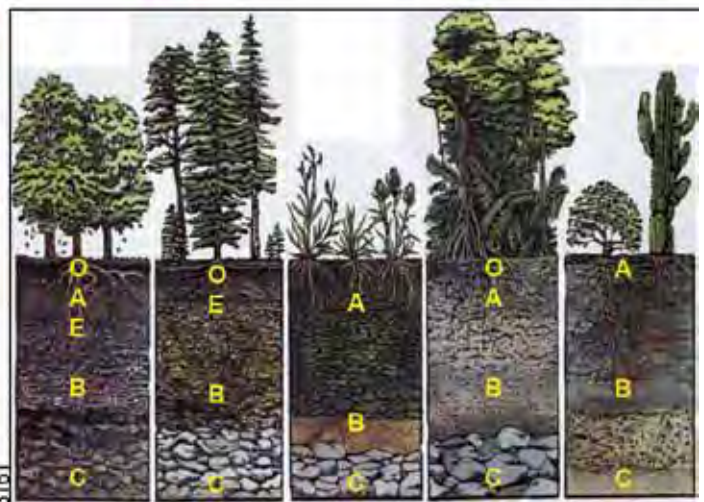
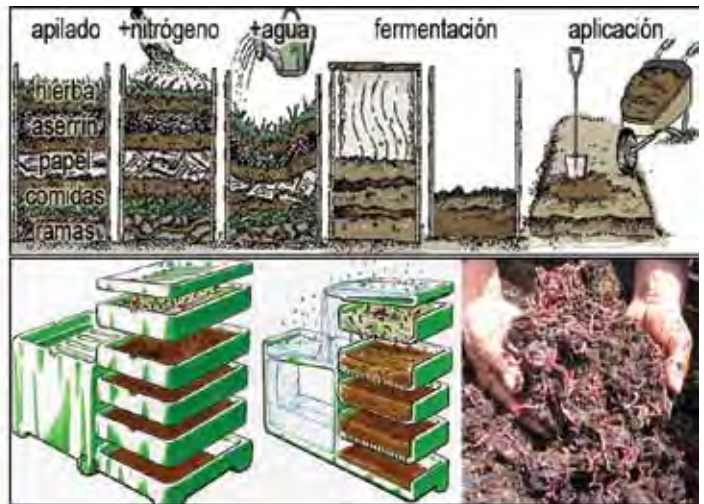
De poder fijar el nitrógeno los animales no necesitaríamos ingerir proteínas. Desde hace siglos se sabe que habas, guisantes y legumi-

nosas son "mágicas" para abonar la tierra. Pero recién hace 100 años se encontró que las bacterias de las raíces son la encargadas de la fijación de nitrógeno. La inoculación con micorrizas o *Rhizobium*, ayuda a conseguir nutrientes del suelo. Es el caso de la azolla, una planta acuática que fija nitrógeno junto al arroz. Si se suspendiera el proceso de fijación de nitrógeno por las bacterias en las raíces, el nitrógeno volvería a la atmósfera en 100 años. El éxito de las leguminosas (plantas con fruto en vaina), con 19.000 especies en ambientes muy dispares, quizás se debe a su asociación con estos fijadores de nitrógeno.

El fosfato solo se puede aportar procedente de minerales y los costos se incrementan a niveles prohibitivos. Una forma natural es mediante hongos que forman filamentos que fijan el fosfato; aunque las esporas de los hongos fueron difíciles de dispersar en la tierra. Hoy día se las puede producir en masa y esparcirlas en formato de gel concentrado. Otra forma de conseguir fósforo es desde los restos de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

La lombricultura. El compostaje y la lombricultura son técnicas para mejorar el suelo en forma natural. El compost se genera desde

Buenas Prácticas Agrícolas	
suelo natural y vivo	reposición de nutrientes; fertilizantes naturales; lombricultura; rotación de cultivos.
control de plagas	resistencia natural de plantas nativas; cultivos trampa; enemigos naturales; rotación de plaguicidas químicos.
biodiversidad de semillas	biodiversidad de producción agraria; semillas autóctonas; conservación de variedades para el futuro.
siembra directa	labranza (arado) mínima; conservación del suelo y agua; agricultura de precisión.
rotación de cultivos	alternar diferentes familias; evita que se establezcan las plagas.
cultivo de cobertura	para protección del suelo; evita la erosión y mantiene la humedad; evita las malezas; mantiene la actividad biológica del suelo.
cuidado del agua	dejar el rastrojo luego de la cosecha; siembra directa; uso de cultivo de cobertura; mínimo riego.
biodiversidad silvestre	diversidad del ecosistema agrario; estabilidad y resistencia a plagas; integrar agro-ganadería-forestal.
reducción de emisiones	reducción de combustibles fósiles y agroquímicos; uso de energías renovables; procesado de estiércol en ganadería.



3161. Las buenas prácticas y el suelo agrícola. Las buenas prácticas agrícolas son un conjunto de herramientas que no es única y no está consensuada. Sin embargo, parecen incluir lo mejor de la agricultura moderna (arriba-izquierda). Una primera buena práctica es el mantenimiento de un suelo, vivo y natural. Dos herramientas para obtener fertilizantes son el compostaje y la lombricultura (derecha). La lombricultura permite procesar los desechos mediante el sistema digestivo de las lombrices y convertirlos en compost orgánico. El suelo tiene 4 capas principales (abajo). El horizonte O corresponde a la materia orgánica viva; el horizonte A es suelo productivo (humus). El horizonte B es el subsuelo. El horizonte C es la roca matriz. La preservación del suelo se realiza mediante varias técnicas, como el cultivo de cobertura para evitar la erosión eólica y del agua. Una de las claves del mantenimiento del suelo es el uso de fertilizantes orgánicos naturales que dependen del suelo.

desechos orgánicos por la acción de microorganismos sobre restos de comida, aserrín, poda de jardín, excrementos, restos de carbón, diarios, etc. La descomposición es aeróbica (a cielo abierto), con humedad media (40-60%) y temperatura moderada (60 °C). El resultado es una materia rica en nutrientes que se esparce en el terreno. La descomposición natural en el suelo la realizan los hongos, bacterias y levaduras; pero además está el sistema digestivo de las lombrices. La digestión de los materiales orgánicos mejora las propiedades del suelo (permeabilidad, retención de humedad, intercambio catiónico). Se puede producir compost desde excrementos de vacas y de la avicultura.

La lombricultura es el arte de la crianza y producción de lombrices epígeas (de superficie). Son útiles para el tratamiento de residuos orgánicos y la producción de abonos llamado vermicompost (humus de lombriz, heces de gusanos), por lo que se prefieren especies con ciclo de vida corto, crecimiento rápido y valencia ecológica amplia respecto a temperatura y humedad. La lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) es la más usada. Se adapta al cautiverio, se alimenta de bacterias, hongos y protozoos que se producen en forma natural en la materia en descomposición. Resisten las enfermedades y tienen alta reproducción. Consume su propio peso por día (1 gramo) y excreta el 50% en componentes de alta calidad.

(2) Un control de plagas rotativo. El uso de plaguicidas químicos está cuestionado en una agricultura sustentable. Pero existen muchas otras alternativas para el control de las plagas: resistencia natural (plantas nativas), biológicos (organismos que repelen o se alimentan de plagas), mecánicos (herramientas para hierbas y coberturas para insectos); etológicos (aprovechar la conducta de los insectos mediante feromonas); genético (con organismo GMO); agronómico (cultural).

Las especies autóctonas y un abono adecuado hacen más resistentes a las plantas, lo cual reduce la necesidad de pesticidas. Evitando los monocultivos se dificulta la radicación de plagas, por lo que conviene una adecuada rotación y asociación en los campos. Se promueve el desarrollo de la fauna auxiliar autóctona, mediante setos y la suelta de insectos útiles (parásitos o depredadores). Como plaguicidas se pueden utilizar productos de origen natural, como las piretrinas de las flores secas del crisantemo o *Bacillus thuringiensis* (la bacterias aeróbica que produce una toxina insecticida). También puede usarse el extracto de ajo que sirve para repeler la mosca blanca, las aves y distintos tipos de insectos chupadores. El ajo es biodegradable y actúa enmascarando el olor del alimento y las feromonas, lo que evita la reproducción de las plagas. La UNT (Universidad Nacional de Tucumán) informó que la chirimoya produce una acetogenina que es un plaguicida natural para insectos. Como es inocuo para mamíferos se lo puede usar en agricultura orgánica de maíz y algodón. Se procesa de la semilla molida de la chirimoya junto con alcohol etílico y agua.

En la costa este de Estados Unidos se tuvieron brotes de *Salmonella* y *E. coli* con origen en cultivos como el tomate. En la costa oeste no ocurrían y la causa se identificó en la presencia de una bacteria (*Paenibacillus*) que controla la *Salmonella*. La cría y pulverización de esta bacteria sobre brotes de tomate permitiría el control de las enfermedades. Este es un ejemplo de "revolución microbiana", la antítesis de la "revolución verde" ya que aprovecha lo que existe: un agrobioma de 40.000 microorganismos por gramo de tierra. Algunos tienen la esperanza de poder mejorar las cosechas con estas técnicas en lugar de usar transgénicos y agroquímicos. Por ejemplo, la bacteria *Rhizobium*

etli vive en el entorno de las raíces de las habas y genera trehalosa que aumenta la producción y permite la resistencia a las sequías.

En Uruguay la mosca blanca afecta la calidad de las frutas y el rendimiento de la cosecha. Un enemigo natural son los hongos entomopatógenos que invaden al insecto y lo matan. En el INIA (Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria de Uruguay) se desarrollaron los trabajos para identificar y seleccionar el hongo; la evaluación de la forma de producción en escala; el ajuste de la fórmula del bioinsecticida y la evaluación de la eficiencia en el control de la plaga en el tomate.

Una mariquita (coleóptero) puede controlar los pulgones porque son sus depredadores naturales: insectos carnívoros contra insectos herbívoros. Pero, el problema es la escalabilidad del uso de controles vivos. Se puede recurrir a olores y néctares de plantas silvestres que atraen a los depredadores de plagas. Las plantas silvestres emiten olores naturales cuando son dañadas por insectos herbívoros y que atraen a los enemigos naturales. En los últimos 30 años se reconoció que las plantas utilizan olores para comunicarse entre sí y con otras especies. Tales defensas involucran múltiples genes y no será fácil usarlos en organismos GMO. Una alternativa es plantar cultivos que atraen a los insectos carnívoros, pero la desventaja es que se requiere más trabajo y la tasa de éxito no es conocida. Otra opción es crear dispensadores mecánicos que podrían liberar olores atractores y néctar fungicida.

Una posible alternativa es la guerra transgénica. Es posible alterar el ciclo biológico de los insectos por medio de la esterilización de los machos mediante radiación o transgénesis. Cuando se los suelta y se aparean con las hembras, no podrán producir crías. Esta técnica fue usada por vez primera con el gusano barrenador de ganado (1958) y luego en la mosca tsetse. Pueden ser costosa, lleva mucho tiempo y sirve sólo para ciertas clases de plagas; no obstante, pueden ser tan efectivos o aun más que los químicos.

Otra posibilidad es la rotación de cultivos para reducir la necesidad de plaguicidas, si son especies autóctonas se mantiene una reserva de genes más sana, siendo la base de futuras adaptaciones. Por ejemplo, pueden cultivarse cosechas donde las plagas no puedan arraigarse o cultivar una "cosecha trampa" para atraer los insectos (sean plagas o sus predadores) sin afectar la cosecha principal. Un cultivo de cobertura como la *Vicia villosa* puede producir 8 t/ha de materia seca compitiendo con las malezas en forma eficiente.

Existen también medios mecánicos para el control de malezas evitando el uso de agroquímicos. Son la rastra de disco de doble acción; los rolos para desterronar y las rastras rotativas para desmalezados tempranos. Se trata de herramientas tiradas por tractor que llevan puntas, discos o filos que afectan a la capa superficial y que alteran el ciclo de crecimiento de la maleza. Otra medida mecánica es el agua caliente que puede tener casi tan buen efecto sobre los pulgones como los pesticidas.

El caso: "plaguicida natural en las hormigas". Las hormigas participan de muchos casos interesantes y educativos de control biológico de plagas. El primer caso es la convivencia de las hormigas cortadoras de hojas (género *Atta*) con diferentes tipos de hongos y bacterias. Estas hormigas (40 especies en América) pueden vivir en

colonias de un millón de individuos. Son conocidas por dañar los cítricos y otros árboles frutales u ornamentales, pero son difíciles de controlar por medios tradicionales porque son agricultoras y no responden a la mayoría de los cebos y venenos. Ellas cultivan su alimento que es producido por un hongo especializado que co-evolucionó en una relación simbiótica (mutualista) durante 50 Ma (millones de años). A la colonia de hongos benéficos las hormigas la alimentan con hojas y ésta entrega nutrientes. Estos hongos conviven con bacterias fijadoras de nitrógeno para producir las proteínas que necesitan las hormigas. Esta relación circular benéfica entra en crisis con el hongo parásito y patógeno *Escovopsis* que ataca los cultivos y las hormigas. Cuando una hormiga es infectada por el hongo se defienden usando bacterias (actinomicetos) que producen antibióticos y mediante una secreción de ácido fenilacético (antimicrobiano) desde una glándula (metapleural) en el tórax. Un grupo de hormigas obreras se especializa en esta tarea porque desarrollan glándulas más grandes. No se conocen casos donde el hongo destruyó una colonia, aunque se sabe que pueden generar resistencia. ¿Cómo logran las hormigas mantener este sistema que controla al hongo parásito por millones de años? Se especula que las hormigas aplican el ácido en forma muy controlada, solo cuando hay una infección y solo en las áreas infectadas. Es un serio contraste con el uso de plaguicidas en la agricultura humana. El conocimiento de esta relación multipartita puede ser usada como una forma de control natural de las hormigas cortadoras de hojas. Los biólogos todavía tienen que documentar el ciclo de vida completo de *Escovopsis* para entender cómo el parásito debilita la salud de la colonia y la amplitud con que podría ser utilizado contra las especies cortadoras de hojas.

Un caso más complejo involucra a tres tipos de actores. Una especie de hormiga roja (género *Myrmica*) cava túneles que puede afectar las raíces de la planta de orégano silvestre. Entonces, la planta libera gases tóxicos (carvacrol, el principal componente de su defensa). Este compuesto ataca a otras hormigas pero *Myrmica* evolucionó la forma de neutralizarlo. Cuando esto ocurre el orégano aumenta la cantidad de carvacrol liberado lo que atrae a la gran mariposa azul. Esta mariposa pone los huevos en las flores del orégano y cuando la oruga lleva dos semanas de vida cae al suelo y es transportada por las hormigas al interior del hormiguero. Allí, la oruga se transforma en un parásito que se alimenta de las larvas de hormigas durante 10 meses y aumenta 50 veces el peso hasta convertirse en crisálida. Así, todos se benefician: la planta de orégano controla la población de hormigas a costa de perder algunas flores; la mariposa encuentra un hogar seguro para dejar sus huevos y alimento gratis y las hormigas pierden huevos pero obtienen un área de cría libre de otras hormigas.

Un caso diferente son las hormigas tejedoras (género *Oecophylla*) que consumen una gran variedad de insectos y otros artrópodos como fuente de proteínas. Los árboles se benefician porque los libera de potenciales plagas. Estas hormigas se usan en forma tradicional como control biológico en China desde hace 2.500 años. Su uso en Australia fue exitoso en frutales porque terminan produciendo frutas de mayor calidad, muestran menos daños en las hojas y requieren una menor aplicación de pesticidas. En el sudeste de Asia se construyen puentes de cuerdas entre árboles para llevar a las hormigas y se les provee de alimentos para evitar la migración. Pero, se sabe también que en algunos casos pueden tener efectos negativos en las plantas al reducir el consumo de frutos por parte de algunos mamíferos y aves, lo que reduce la dispersión de semillas. Además disminuyen la visita de po-

linizadores y reducen la productividad porque protegen a insectos que se alimentan de su savia y secreciones.

Un problema fue detectado en Patagonia luego de 35 años que se plantaron las primeras forestaciones de pino ponderosa. Se encontró que las áreas forestadas carecen de hormigas, lo cual indica que los bosques implantados producen efectos colaterales sobre el ecosistema. Al modificar los ecosistemas naturales se producen alteraciones cuyas consecuencias son aún desconocidas.

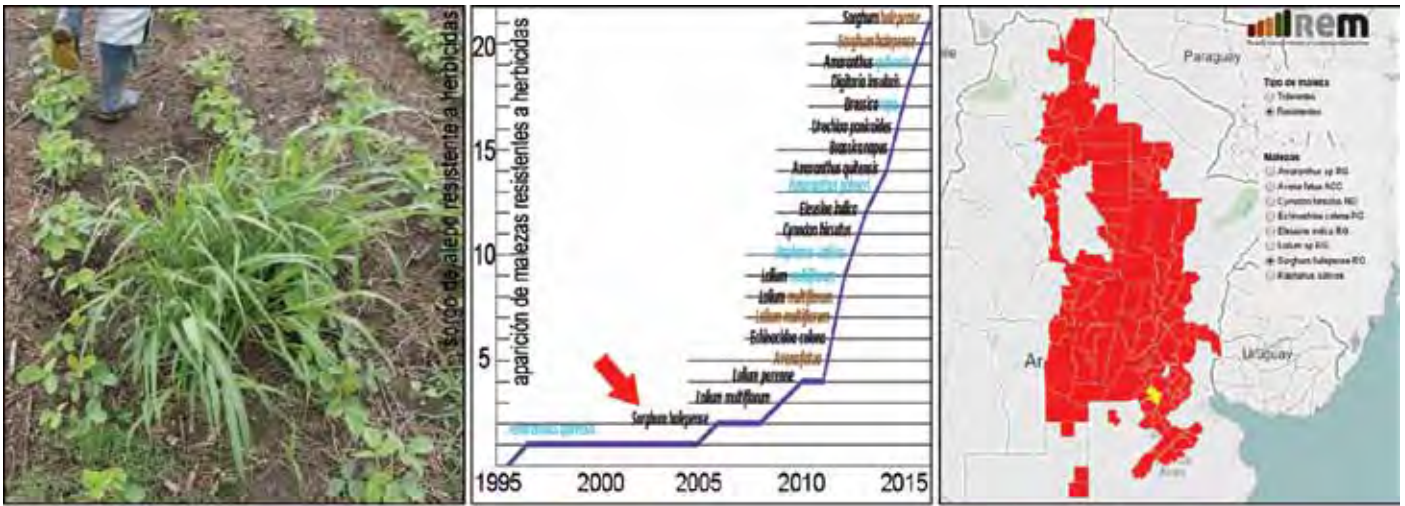
El caso: "los cardos". En la Argentina el control biológico data de 1900 y hasta 1980 se habían introducido 40 agentes de control. En la actualidad varios organismos se ocupan del tema (INTA, SENASA, Universidad de La Plata). Un caso de interés son los cardos exóticos (abrojos), que en la Argentina son 4 géneros originales de Eurasia. Darwin (1830) ya los menciona como ampliamente distribuidos. Para el control de cardos en Estados Unidos y Australia se llevó una especie de coleóptero (gorgojo o picudo) cuyas larvas se alimentan de la flor y disminuye la producción de semillas.

En la Argentina se introdujo en los años '80 y en el 2006 se evaluaron los resultados. El insecto se estableció en el 91% de los sitios de liberación y se dispersó a una velocidad de 15 km/año. Para conocer el efecto sobre los cardos se marcaron 70 tallos, de los cuales solo 27 llegaron al ciclo completo. De las 6.000 inflorescencias estudiadas, el 9% fue afectado por el gorgojo y redujo el 15% la producción de semillas. Un éxito muy limitado, porque el control que se logró con este método en otros países no se produjo aquí. En una aplicación similar, en 1920 en Australia se tuvo éxito en controlar un cactus americano invasor con una polilla llevada desde la Argentina.

(3) Semillas y genética. El origen de las semillas es materia de controversia en la agricultura sustentable. La ingeniería genética abrió un amplio abanico de posibilidades donde la agricultura ecológica no está de acuerdo con su uso. En muchos casos es probable que se deba recurrir a semillas del mercado debido a la dificultad para encontrar semillas ecológicas certificadas. En tanto, se requieren acciones para recuperar las variedades de semillas locales, bien adaptadas al entorno y sin modificaciones genéticas. Deberían ser más resistentes a las enfermedades y a la presión del clima. Cuando se trabaja con productos certificados no se permiten los organismos transgénicos en la producción, elaboración o manipulación. Sin embargo, como se utilizan muchos organismos transgénicos, la agricultura orgánica no podrá asegurar la pureza absoluta debido a las formas no controladas de propagación genética, como el polen.

En Noruega (Svalbard) se generó una Bóveda Global de Semillas en el 2008. Es una caverna en el permafrost (-18 °C) que contenía en el 2015 unas 864.000 especies de plantas con 500 semillas en promedio de cada una. Mientras exista el permafrost el mantenimiento de la reserva de semillas congeladas está garantizado. En el 2015 se usó por primera vez este banco para obtener semillas por la Guerra Civil en Siria. Se recuperaron de su encierro congelado 130 cajas de 325 especies con un total de 116.000 semillas que se enviaron a la ciudad de Aleppo.

Cerca de Cusco (Perú) se encuentra el Parque de la Papá que abarca 15.000 ha, con altura entre 3.200-5.000 msnm. Son 6 comunidades indígenas con 8.000 residentes. El objetivo es preservar 1.300 varie-



BUSQUEDA A CAMPO
Se realiza la prospección de cepas nativas de microorganismos que, si existen, podrían solucionar el problema a tratar.

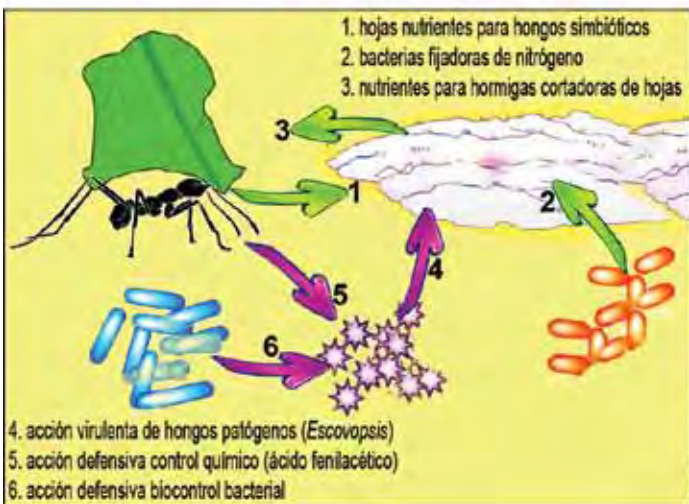
AISLAMIENTO
Una vez identificadas, las cepas de interés son aisladas en laboratorio para su preservación.

ENSAYOS EN LABORATORIO
Se realizan ensayos para analizar las particularidades de las cepas seleccionadas.

SELECCIÓN
En base al resultado de los ensayos son seleccionadas las cepas más eficientes para el objetivo planteado y que poseen los más altos niveles de seguridad para ser producidos a gran escala.

ENSAYOS A CAMPO
Se realizan ensayos a una escala mayor, en un ambiente controlado, para analizar el comportamiento de las cepas seleccionadas, antes de su comercialización y se selecciona la mejor opción.

REGISTRO Y PUESTA EN SERVICIO
Obtenidos los permisos legales, el producto se pone a disposición de los productores. Se emite el producto para su aplicación y se hace el seguimiento de los resultados.



3162. Las malezas y el control de plagas. El sorgo de alepo (arriba-izquierda) se volvió resistente en el 2005 (centro) y para el 2015 se lo podía encontrar en casi toda las regiones productivas (derecha). Para el 2015 eran ya 22 las malezas resistentes a uno o varios agentes agroquímicos. Las malezas resistentes requieren la rotación de cultivos y plaguicidas de diferente tipo de acción para evitar la radicación de un tipo de maleza específico. El primer caso histórico en el mundo fue en 1968 con el *Senecio vulgaris* que resistió a la Simazina. Hoy a nivel global son 165 especies resistentes a 16 familias de herbicidas. Un problema que requiere de acciones naturales es la difusión de bacterias *E. coli* desde el área de ganado hacia la producción agrícola (centro-izquierda). En algunos casos se recurre a bioinsumos (hongos, bacterias, virus o insectos benéficos). Por ejemplo (derecha), para obtener un plaguicidas para hongos se busca en el campo la cepa nativa más prometedoras; se realizan ensayos en laboratorio y en campo; luego se obtienen los permisos legales (SENASA y ANMAT); y se realiza el seguimiento de los resultados. Un caso de reflexión son las hormigas cortadoras de hojas que usan un control químico contra hongos patógenos y lo hacen en una forma muy dosificada para evitar generar resistencia (abajo-izquierda). Otra forma de control es introducir un enemigo natural que se alimente de la plaga. Por ejemplo, el picudo puede controlar al cardo exótico (derecha) ya que sus huevos se alimentan de la flor.

dades de papas nativas (con los híbridos se llega a 4.000 variedades). El calentamiento del clima y las plagas han movido las especies que prosperaban desde 3.800 hasta los 4.000 msnm. Más arriba las heladas afectan la cosecha. Una forma de control de plagas que se utiliza es dejar descansar el suelo por 7 años; otra es agregar yeso o guano de aves de corral a la tierra para matar gorgojos. La cámara fría que protege las semillas y tubérculos del calor (se envuelven en papel), es una casa de barro, madera, techo de paja y con desniveles en el piso con agua para enfriar. Los tubérculos soportan un año y las semillas 20 años en ese ambiente. Tal es así que el chuño (la papa deshidratada por el frío) se conserva 3 años y se usó para llevar provisiones a los ejércitos incas.

En la Argentina, el INTA generó el Banco de Germoplasmas que contiene el 95% de los recursos genéticos del país. Son 9 bancos con 30.000 entradas. Por ejemplo, en Alto Valle se trabaja con frutales; en Mendoza con vides; en Pergamino con maíz y especies forrajeras; en Concordia con cítricos. Las semillas se conservan en cámaras entre 0-12 °C y humedad de 5-8%. Se usan bolsas de aluminio termoselladas herméticas o frascos de vidrio. Una colección base separada se conserva a -20 °C. El Banco tiene 46 variedades de papas andinas, lo que contrasta con las 4.000 del parque de Cusco. En otro orden, la Facultad de Agronomía de la UBA contabilizan los productos agroalimentarios en extinción. Son alimentos que se extinguen por falta de producción o demanda. En el 2014 eran 110 los productos regionales de pequeños productores. A nivel global, se está generando un catálogo que lleva más de 1.875 casos (www.slowfood.com, nombre que se opone a fastfood). Se destacan: el arropo de uvas, el vino patero, el alfeñique, el amaranto, maíces y papas andinas, granadilla, mistol, etc. Por ejemplo, del algarrobo se obtiene la vaina (algarroba), de cuya harina se fermenta y destila una bebida llamada chicha (sin alcohol) y aloja (cuando tiene alcohol). La desaparición es una reducción de los recursos alimentarios y una pérdida de la cultura acumulada. Es el resultado del desplazamiento de poblaciones rurales a centros urbanos donde se pierde la identidad cultural. A la pérdida de variedades de alimentos se suma una reducción de la biodiversidad en la vida silvestre.

(4) Siembra directa. Por siglos, con distintas herramientas, los agricultores araron el suelo. Se conocen arados de hace 3.500 años y el arado triangular (tipo Rotherdam) data de 1730. Al remover el terreno se entierran residuos de la cosecha anterior, el estiércol y malas hierbas; también se caldea y airea el suelo. El oxígeno penetra la capa superficial, el suelo se vuelve esponjoso y facilita la penetración de las semillas. Las ventajas en el corto plazo facilitó el uso del arado por mucho tiempo. Pero, esto deja la superficie muy expuesta a la erosión del viento (en suelos arenosos) y el agua (en suelos con pendiente). Como la labranza es la principal causa de erosión y pérdida de suelo agrícola, se prefiere la siembra sin labranza (sin arado) y el uso de siembra directa.

En 1947, Edward Faulkner, propuso cambiar el paradigma de labrar la tierra, pero no prosperó hasta que aparecieron los herbicidas (el arado evita la proliferación de malezas). La Argentina es pionera ya que en 1989 se formó la AAPRESID (Asociación de Productores de Siembra Directa) y tiene la mayor proporción del terreno sin labranza y con siembra directa (90%). Hoy día los desafíos de esta técnica de trabajo recide en el control de malezas, de insectos y enfermedades resistentes a los agroquímicos. El INTA realizó un estudio de 8 años y encontró que con un régimen de lluvias de 760 mm/año, la siembra

directa ganó 100 mm de agua y el rendimiento fue del 15% mayor en la producción de soja cuando se siembra en forma directa sobre rastrojo de maíz.

La técnica "sin labranza" o "siembra directa" es denominada "agricultura de conservación" por la FAO y tiene los siguientes beneficios: es más amigable con la fauna y flora del suelo porque mejora su formación y estructura; propicia sistemas más estables y con mayor rendimiento; ayuda a retener el agua y reducir la erosión; en parte ayuda a retener el CO₂; permite la estratificación del terreno lo que garantiza la vida de los microorganismo y lombrices (casi 10 veces más); es eficiente para plantar en terrenos anegadizos donde el arado generaría lodazales; prolonga la vida útil de la maquinaria (70% respecto de la labranza tradicional) y reduce el consumo de combustible 40% menos). Entre las buenas prácticas está iniciar la siembra directa sobre lotes sin pendiente; no usar neumáticos de alta presión; se prefieren varios neumáticos en paralelo para distribuir el peso o neumáticos de flotación; el rastrojo acumulado de varias cosechas amortigua las ruedas de la maquinaria; no hacer trabajos en terrenos húmedos; cambiar la dirección de siembra en cada cosecha; en las zonas de alto tránsito sembrar cultivos de cobertura densos.

La maquinaria para la siembra directa tiene al menos 3 etapas: una rueda que oficia de cuchilla para abrir el surco de 3 cm de ancho y 10 cm de profundidad; un juego de ruedas que coloca las semillas y fertilizantes (la separación entre surcos y entre semillas es regulable); y dos ruedas posteriores que cierran el surco. Las máquinas también permiten dosificar el fertilizante y plaguicidas. La agricultura sin labranza con siembra directa requiere de maquinaria y experiencia, pero se usa menos veces. En un principio puede tener una reducción de la cosecha y lentificar la germinación.

Algunas veces, el laboreo mecánico puede ser necesario para facilitar la siembra, recolección y tratamientos. Si se aplica labranza mecánica, el consejo es que el apero no voltee el suelo en profundidad, para no alterar el orden natural de las capas. Se busca evitar la compactación del suelo por el peso de la maquinaria. La siembra directa requiere mayor cantidad de herbicidas porque, al no voltear la tierra con el arado, las malas hierbas permanecen en la superficie durante el barbecho. Las malezas consumen nutrientes y agua, por eso es necesario el control en todo momento. Un estudio de 41 años en Francia permitió comparar la labranza anual, labranza mínima y labranza cero desde el punto de vista de la captura de carbono. El resultado dio un valor igual para todos los casos. La labranza mínima aumenta el carbono superficial (0-10 cm), pero lo disminuye a mayor profundidad (10-30 cm).

El sistema de siembra directa resulta sustentable en la Argentina (90% del área), pero en Estados Unidos (con 44%) es algo diferente. La región productora en Estados Unidos tiene una ventana de tiempo muy pequeña (5 meses) porque el resto del tiempo permanece bajo nieve (en la Argentina se trabaja todo el año). El rastrojo de las cosechas se congela en invierno, no se pudre. El agua abunda y no se requiere la conservación como en la región pampeana donde el trabajo "sin labranza" conserva el agua en el suelo. Entonces el arado y movilización del suelo puede ser necesario bajo el sistema "labranza mínima". En Estados Unidos siembran maíz sobre maíz (en lugar de soja sobre soja). Además, existe una fuerte presión de la industria de tractores que pierde mercado cuando se usa la siembra directa.

¿Es la labranza una alternativa de manejo de malezas resistentes? La resistencia siempre estuvo, en los 90 no era al glifosato sino a imidazolinonas y sulfonilureas. La solución se buscó en la rotación de herbicidas de diferente modo de acción, la mezcla de herbicidas y la rotación de cultivos. El método funcionaba hasta la aparición de la soja transgénica resistente a glifosato, junto con la modalidad de "pool de siembra" con alquileres de campos anuales, lo que llevó al monocultivo de soja. Los defensores de la siembra directa dicen que la labranza sería la última alternativa para el manejo de malezas resistentes, sobre todo en zonas donde lleva mucho tiempo generar coberturas. La labranza es un factor de remediación, pero no es la solución. Si el objetivo es enterrar la semilla de las malezas para que no rebrote, hay que llevarla a 18 cm de profundidad. Pero, surgiría el viejo banco de semillas anterior. Dicen que la solución es el manejo preventivo, monitoreo y diversidad de cultivos. Usar cultivos de cobertura en invierno y herbicidas adecuados. La siembra directa logró adormecer a malezas que requerían de labranza para su germinación. La labranza en el corto plazo soluciona el problema de ciertas malezas (rama negra), pero al largo plazo no reduce ni la presencia ni la densidad de la especie.

Agricultura de precisión. Unido a la siembra directa se encuentra la agricultura de precisión que utiliza información de cada palmo del suelo para dosificar los insumos y planificar la siembra. El objetivo es utilizar la tecnología informática para que la maquinaria funcione en forma autónoma localizada mediante GPS, con piloto automático y utilizando la detección de malezas mediante sensores ópticos y dosificadores automáticos para aplicación de semillas, nutrientes y herbicidas. El resultado es un mapa preciso de siembra, requerimiento de agroquímicos y todo lo que hace a una gestión detallada de cada campo. Se logra una mejor trazabilidad, menor contaminación, mayor rendimiento y automatización (tendencia a la robotización de la tarea agrícola). También facilita el intercambio de datos entre productores para analizar problemas y buscar soluciones comunes.

Las distintas dimensiones que componen la agricultura de precisión son: historial del suelo en cada palmo de la parcela (productividad, contenido de nutrientes, el pH, la textura y profundidad del suelo, nivel de humedad y stress hídrico, estado de las napas, estado de las malas hierbas y enfermedades); información de biomasa (tamaño de las plantas, clorofila, peso de las frutas); geoposicionamiento para el manejo de la maquinaria agrícola (GPS, imágenes satelitales, imágenes desde drones); dosificación en cada sector del terreno (separación entre surcos y entre semillas, dosis variables de nutrientes y herbicidas, dosificación del riego por zonas); información meteorológica (planificación de siembra, elección de semillas transgénicas apropiadas, dosis de plaguicidas); sensores especializados que trabajan hermanados con dosificadores automáticos.

Los sensores detectores de malezas emiten una luz roja en forma permanente; cuando inciden sobre materia vegetal viva la clorofila absorbe esta luz y emite radiación infrarroja IR; el sensor detecta la luz IR y activa las boquillas que expulsan el herbicida en gotas grandes y concentradas. El trabajo puede realizarse de día o noche y la eficiencia puede llegar a un ahorro del 90% en el uso de herbicidas. Se tiene un beneficio económico y ambiental, pero además evita la deriva del químico por el viento (beneficio social). Esta tecnología permitirá el mapeo de malezas año tras año para ver la evolución en cuanto hace a posición y abundancia.

Por ejemplo, en California (2015) un granjero implantó 25 sensores de humedad a 2 m de profundidad en huertos de nogales. Los receptores son alimentados con energía solar y envían cada 15 minutos datos mediante un enlace celular. Esta información, junto a la meteorológica, ayuda a decidir cuándo regar y dónde. Empresas del rubro como Monsanto y Deere participan de estos negocios, pero también lo hacen las tecnológicas como Google, IBM e Intel.

Silo-bolsa. Otra técnica hermanada es el acopio en silo-bolsa. Es una técnica que se usa desde 1970 para el acopio de forraje para animales en Europa. En la Argentina el sistema evolucionó ante la falta de silos para acopio generalizado. De 2 Mt de acopio en silo-bolsa en 1999 paso a 41 Mt en el 2014; es casi el 50% de los granos en la Argentina. La atmósfera interior impide que los granos se deterioren (poco oxígeno y mucho CO₂) lo que permite un acopio de hasta 2 años. Los silo-bolsa permiten el acopio en el mismo lugar de producción; la reducción del requerimiento de logística de transporte durante la cosecha y de grandes silos. La bolsa es de 3 capas de polietileno y un filtro exterior de rayos UV. El tamaño es de 70 m de largo por 2,75 m, pudiendo contener entre 120 t (girasol o arroz) y 200 t (soja, trigo, maíz). Puede usarse como acopio para una venta posterior donde el productor tiene el control de los tiempos o para forraje de animales que lo consumen en la medida que lo necesitan (avícola o ganadero). Se requiere maquinaria especializada para el llenado y vaciado de la bolsa.

(5) La rotación de cultivos. Esta técnica consiste en alternar plantas de diferentes familias y con necesidades nutritivas distintas a lo largo de varios ciclos de cultivo. Esto evita que el suelo se agote y que las enfermedades que afectan a un tipo de plantas se perpetúen en el tiempo. Se aprovecha mejor el abono (al utilizar plantas con necesidades nutritivas distintas y con sistemas radiculares diferentes); se controlan las malas hierbas y disminuyen los problemas de plagas y enfermedades. Un ciclo posible para pequeñas granjas es plantar en forma alternada: frutos (tomate, berenjena, pimientos); raíces (papas, cebollas); hojas (lechuga, acelga) y flores (coliflor, trébol). En el sistema Norfolk (Inglaterra-1730) se propone: cebada (en primavera como cereal); raíces (papas o nabos para ganado); trigo (en invierno como cereal) y guisantes o trébol (para fijar el nitrógeno).

En la Argentina antes de 1960 los campos tenían una rotación entre agricultura y ganadería. Tras 4 años de uso con pasturas y ganado se rotaba trigo-maíz por otros 4 años. El ganado aportaba el abono natural del estiércol. Luego, se incorporó el cultivo de soja y se redujo la ocupación por ganado. Hoy día el ciclo cambió a trigo/soja-maíz-soja-soja, y en muchos casos con 2 cultivos anuales, sin un descanso mediante ganadería. El INTA cuantificó los beneficios de la rotación entre maíz y soja. De 28 estudios (período 1980-2006), 26 mostraron incrementos de producción del 5 al 19% en maíz y la reducción del uso de fertilizantes. En cambio, el monocultivo de soja (sin rotación alguna) produjo pérdida de suelos y nutrientes por erosión. La rotación redujo la pérdida de suelo en 30%. En la región pampeana se utiliza la secuencia trigo (primavera) y soja (verano) que es muy intensivo en extracción de nutrientes y muy dependiente de la disponibilidad hídrica. La secuencia óptima parece ser trigo-soja/trigo-maíz para anexar los beneficios de la fertilidad a lo largo de la rotación.

En la campaña 2014-15 de la Argentina las condiciones de comercialización del trigo eran malas: no se podía exportar trigo (restricciones gubernamentales), los silos estaban abarrotados (por exceso) y lo

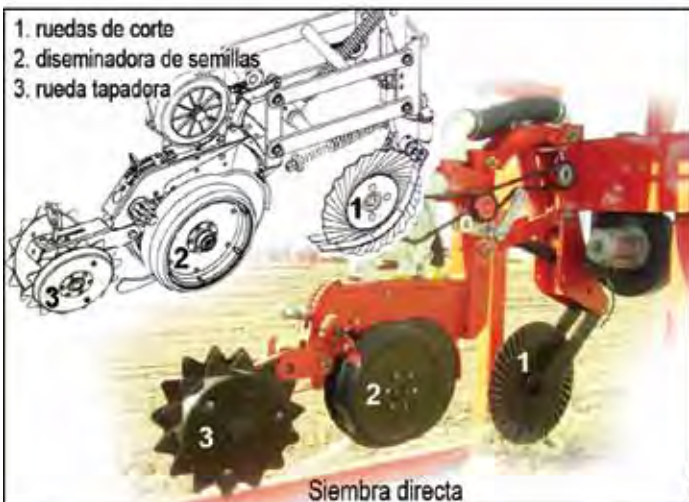
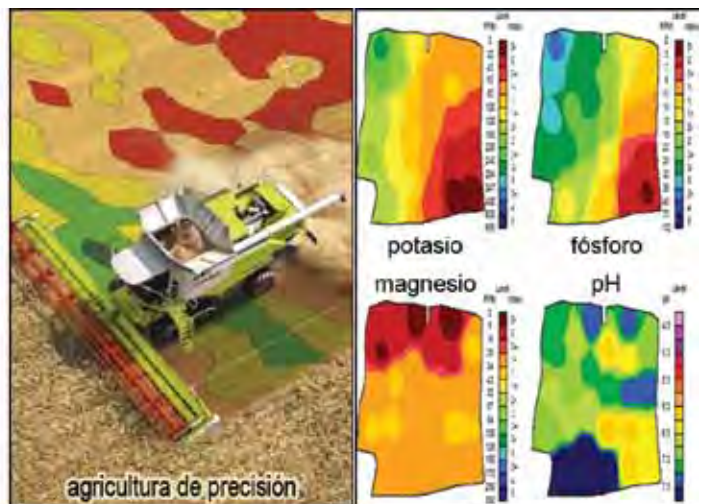
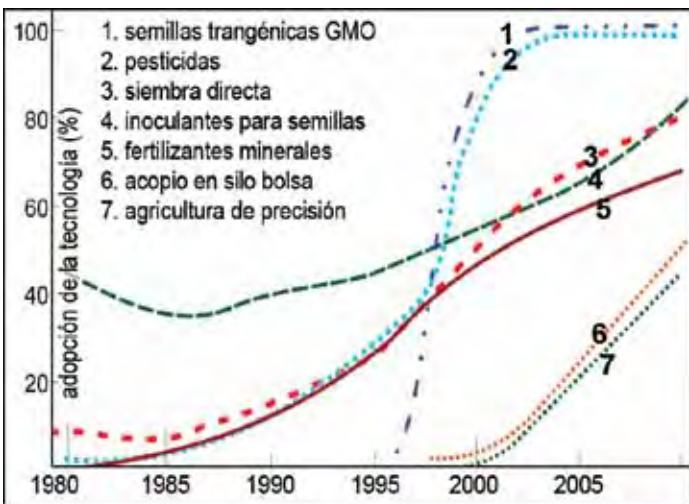
que se exportaba era sometido a retenciones. Los productores mantenían gran parte de la cosecha anterior en silobolsas. Sin embargo, la campaña de siembra fue normal, aunque el área sembrada es similar al año 1920. El INTA realizó entonces una encuesta para entender las razones de esta conducta y la respuesta mayoritaria fue que se mantenía la siembra para cumplir con el ciclo de rotación de cultivos. Esto da una idea del grado de compromiso asumido por la mayoría de agricultores para la preservación del suelo. Sin embargo, no se aplicaron nutrientes y la calidad era mala, lo cual impedía obtener buenos rendimientos y precios. Además, la proporción de cultivo soja-maíz en la Argentina para el 2014 es 5-1 (20 Mha de soja y 4 Mha de maíz) lo que genera dudas sobre la sustentabilidad de la estructura del sistema.

(6) Cultivo de cobertura. El agricultor nunca debería dejar el suelo en descanso ya que en pocas semanas renacen las malezas y se erosiona el terreno y lixivian nutrientes. Por eso una alternativa es aplicar cultivos de cobertura durante el invierno como parte de la rotación de cultivos. Las ventajas son: controla la erosión; mantiene la actividad biológica del suelo; fija nutrientes para la próxima siembra;

ayuda a controlar las malezas porque compiten por el sol; dependiendo del cultivo puede ayudar a evitar la evaporación o a deprimir la napa de agua en casos de exceso de lluvias.

La cobertura no se usa para producción sino para protección y regeneración del suelo. Son plantaciones de gramíneas (centeno, avena, cebada) o leguminosas (alfalfa, trébol) que se implantan luego de la cosecha para producir biomasa antes de la próxima siembra. No se cosechan ni se pastorean, sino que se usan los residuos que quedan en la superficie protegiendo el suelo de la erosión; ayudando al reciclado de nutrientes; manteniendo el perfil del terreno con raíces vivas y actividad biológica y contribuyendo al control de malezas. En Estados Unidos se combinan años de siembra directa con otros donde se ara la tierra. Cada región puede tener su técnica óptima donde el objetivo es la conservación del suelo.

Al cultivo de cobertura se lo llama "abono verde" porque ayuda a la fijación de nitrógeno mediante la asociación con microorganismo del suelo, lo que reduce la aplicación de fertilizantes externos. El cultivo



3163. Incorporación de tecnología agropecuaria en la Argentina. En algunas tecnologías como transgénicos y pesticidas el uso llega a casi el 100% (arriba-izquierda). Otras técnicas como agricultura de precisión (derecha) y la siembra directa (abajo-izquierda) son importantes para la conservación del suelo. El almacenaje en silo bolsas fue imprescindible ante la falta de silos convencionales (derecha). La agricultura de precisión recopila información desde imágenes satelitales y aéreas; cartas de suelo y mapa topográfico; muestras de suelo; mapa de conductividad eléctrica; rendimiento de cultivos anteriores y mapas de proteínas y grasas. Esta información permite generar un plan de manejo; selección de semillas; precisión en el control de siembra de semillas y aplicación de dosis de fertilizantes y herbicidas; monitoreo a distancia de rendimiento y trazabilidad. En un estudio del INTA de 18 años se encontró que el 61% de las mediciones dieron mejores rendimientos en siembra directa con rotación de soja-maíz. La siembra directa de maíz retuvo 25-50% más agua en el suelo que mediante agricultura con labranza (el rastrojo de maíz tiene mayor volumen, cobertura y duración, lo que mantiene la humedad).

posterior absorbe este nitrógeno e impide que se pierda por lixiviación y termine contaminando el agua. Otro nombre posible es el de "barbecho biológico", siendo el barbecho el período entre la cosecha y la nueva siembra. Otras formas de barbecho es el mecánico (labores de desmalezado con disco, rolos o cuchillas) y químico (aplicación de herbicidas para el control de malezas).

En el 2015 el INTA publicó un informe de 20 años de estudios que argumenta a favor del uso de rotación bianual soja-maíz con un cultivo de cobertura en invierno y mediante siembra directa. Se observaron mejoras en rendimiento y acumulación del agua en el suelo debido al mayor volumen del rastrojo de maíz. El cultivo distribuye mejor el agua de lluvia y mantiene el suelo a menor temperatura por la sombra. También se observó un incremento en la acumulación de carbono en el suelo superficial. En algunas tierras inertes es necesario realizar varios cultivos de cobertura sucesivos a lo largo de los años para "crear suelo" antes de que sea productivo. Los cultivos de cobertura compiten con las malezas por espacio, luz y nutrientes, de forma que son un eficaz medio de control. Cuando mueren generan un manto que prolonga la protección. En varios estudios se reportaron que los niveles de malas hierbas fue del 10-20% menor comparado con suelos sin cobertura.

Otra ventaja es la ruptura del ciclo de enfermedades y reducir las poblaciones de bacterias y hongos que requieren plaguicidas. En algunos casos se usan como "cultivos trampa" (franjas de cultivos entre campos productivos) para atraer a las plagas y quitarlas de la producción comercial o incluso como medio para hospedar a los predadores naturales de las plagas (control biológico). El cultivo de cobertura, al no requerir un trabajo adicional entrega al suelo un período de reposo (barbecho) beneficiando en parte a la vida silvestre. En campos mixtos se han medido mayor cantidad de aves por la presencia de insectos benéficos. Entre las desventajas se mencionaron: pueden atraer ratas y serpientes; la cobertura perenne que se seca podría tener riesgo de incendios; al retener el agua pueden causar deslizamientos de tierra si hay pendiente y compite con la producción ganadera.

(7) Cuidado del agua. Los informes técnicos aseguran que el aporte de agua externa mediante riego aumenta el rendimiento por hectárea. Sin embargo, esto puede llevar a la sobreexplotación de las reservas de los acuíferos subterráneos y la salinización del suelo. La agricultura debería abstenerse de usar recursos no renovables de agua por encima de la capacidad de recuperación. Para lograrlo se requiere mejorar la capacidad de retención de nutrientes y agua, para reducir el aporte de fertilizantes minerales y riego. La capa vegetal que queda luego de la cosecha (rastrojo) colabora a evitar la evaporación del agua. Con esto se combate la erosión y se reduce el lapso de tiempo en que el suelo queda expuesto. Los partidarios de los biocombustibles proponen convertir el rastrojo en bioetanol indicando que los residuos de la cosecha se pierden. Sin embargo, el rastrojo es parte integral del proceso de rotación de cultivos. Tampoco se aconseja la quema del rastrojo ya que además de perder la cobertura se pierden nutrientes y se corre el riesgo de dispersión de los incendios a campos vecinos.

Para la conservación del agua se suelen hacer dibujos sobre el terreno siguiendo las líneas de superficie para disminuir las pendientes naturales (bancales). De esta forma, en la superficie aterrazada escalonada el agua filtra en la tierra en lugar de escurrir como en los arroyos y se evita la erosión y pérdida del terreno en el área de

cultivo. Una forma de bajo costo es el abancalado por talud herbáceo en los extremos que generan un desnivel y no se cultivan. El sistema de bancales para plantaciones pequeñas o medianas es básico en la agricultura biodinámica (Rudolf Steiner-1924). Se hacen divisiones en el terreno (1 metro de ancho y de largo deseado) para trabajar el bancal desde los lados sin tener que pisarlo y apelmazar la tierra de cultivo. La agricultura biodinámica debió su éxito al uso de bancales y compost orgánico; pero recibió críticas sobre su enfoque místico y con poco rigor científico.

El problema opuesto es el exceso de agua. Por ejemplo, un campo que cultiva un ciclo de soja anual requiere 600 mm de precipitación de agua. El período de barbecho en otoño consume 200 mm por evaporación si el suelo queda cubierto. Si el aporte por lluvia supera este requerimiento se acumula a un ritmo de 2 veces en el suelo (p.e., 200 mm de exceso de lluvias corresponde a 40 cm de aumento en la napa de agua). Cuando la napa está a 2 m de profundidad es aprovechable, pero a mayor altura provoca problemas de suelo (debido a la salinidad) y sobre el cultivo. Una alternativa es plantar gramíneas de invierno para consumir el agua extra. El trigo es el que mejor se adapta con napas de hasta 0,7 m de forma que mantiene el suelo cubierto y vivo.

(8) Convivencia con la vida silvestre. Un principio básico de la agricultura sustentable es el respeto por la vida silvestre, manteniendo o incrementando la diversidad (plantas autóctonas, animales silvestres) y preservando el ambiente y los ecosistemas. Una clave para lograrlo es respetar la biodiversidad agraria, que se logra alternando y mezclando variedades de producción. Se integran distintos niveles: edáfico (lombrices, bacterias beneficiosas, hongos y nódulos de *Rhizobium*); especies silvestres (30% de plantas adventicias) y rotación de cultivos y cultivos trampa.

La diversificación en el ecosistema agrario otorga estabilidad y resistencia frente a sequías y plagas. Se requiere mantener zonas naturales dentro y alrededor de los campos de cultivo, lo que propicia un hábitat adecuado para la flora y fauna silvestre. Las mejores zonas de protección son aquellas que bordean arroyos, lagunas o humedales, lo cual impide la erosión y retiene nutrientes lixiviados por el agua. Los montes que ofrecen alimento y abrigo favorecen la llegada de especies nuevas (permanentes o migratorias) o el regreso de las viejas. Muchos organismos son benéficos para el sistema, como los polinizadores y predadores de plagas. En agricultura algunas buenas prácticas amigables con la biodiversidad son la agroforestería y la ganadería de pastizal. Algunos investigadores aconsejan que en lugar de generar reservas naturales, los conservacionistas se dediquen a trabajar con los agricultores para realizar estrategias combinadas de producción y conservación en los mismos campos.

(9) Reducción de emisiones. La agricultura sustentable está obligada a reducir el uso de combustibles fósiles (emisiones de gases GEI) y de sustancias agroquímicas (contaminación del suelo y agua). Además, las técnicas de cultivo deben ser tales que aumenten la capacidad de retener el carbono en el suelo durante todo el año para reducir la expulsión de CO₂ a la atmósfera. Cuando se trata de ganadería se debe procesar el estiércol para reducir la emisión de metano y producir abonos orgánicos. Se debe cuidar del suelo y contener el avance de la frontera agropecuaria con la pérdida de bosques naturales. Otras forma de beneficiar el ambiente es la producción local de energía solar y eólica, que resultan útiles en zonas rurales con electrificación deficiente.

Algunas variantes de agricultura sustentable

El *Agrarismo* fue un movimiento durante el siglo XIX tendiente a obtener una mejor distribución de las tierras. En cambio, el *Ruralismo* es una filosofía social y política que hace hincapié en que la agricultura produce una vida más satisfactoria; provee un contacto directo con la naturaleza; el agricultor goza de un sentido de identidad y tradiciones; la vida es más armoniosa que en las grandes ciudades y ofrece independencia y autosuficiencia. El Ruralismo no fomenta el rechazo al progreso, sino que aspira a concentrarse en los bienes fundamentales de la tierra, en las comunidades de pequeña escala y en una vida sencilla. En algunos países desarrollados hay una tendencia a abandonar las concentraciones urbanas.

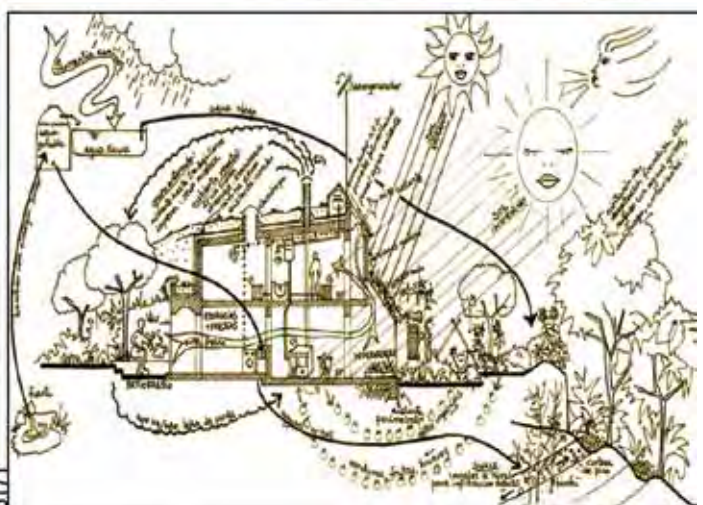
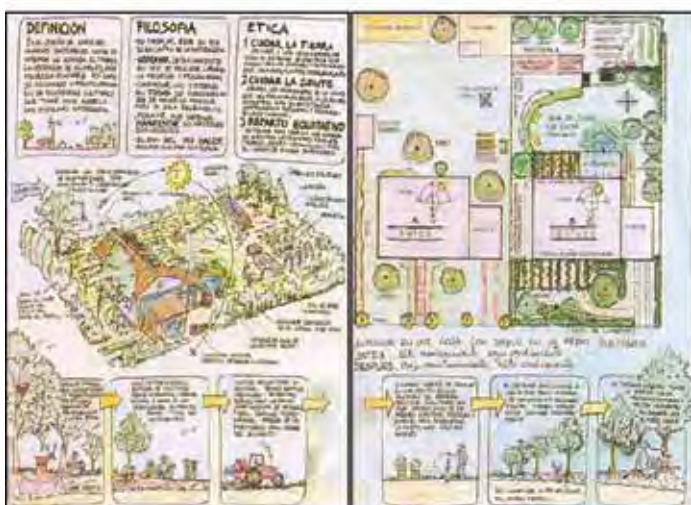
La producción de alimentos orgánicos es parte de esta filosofía que realiza un uso cuidadoso de los recursos naturales (sin sobreexplotación), sin aplicar productos químicos sintéticos (abonos o plaguicidas) y sin usar transgénicos (semillas o animales). Conservando la fertilidad del suelo con más trabajo manual, protección del ambiente y la vida silvestre, se preocupa por la calidad de vida de los animales de granja y la dignidad del agricultor (esta agricultura involucra agricultores pe-

queños). Existen organismos independientes que certifican la trazabilidad de todo el ciclo de producción para que el consumidor se asegure que está comprando alimentos de estas características.

La alimentación sustentable es también un problema de salud pública. Así como se informa mediante una advertencia que el consumo de tabaco y alcohol es dañino para la salud, de la misma forma varios otros alimentos deberían tener igual advertencia. Por ejemplo, la bebida gaseosas con azúcar o los alimentos preparados con exceso de sal. Los alimentos derivados de GMO siguen vías diferentes, se advierte sobre este origen pero desde un punto de vista de la ética (no hay pruebas concluyentes que señale una contraindicación).

La agricultura natural. El Codex Alimentarius es el organismo internacional que establece las normas de la agricultura natural. Depende de la FAO (*Food and Agriculture Organization*) y la OMS (Organización Mundial de la Salud). Redactó las directrices para la producción, elaboración, etiquetado y comercialización de los alimentos producidos con métodos ecológicos. Sirven de orientación al productor

agricultura convencional	agricultura ecológica
modelo de producción abierto	modelo de producción cerrado
grandes empresas y contratistas	pequeños productores
producción de monocultivos	producción diversificada
nutrición vegetal directa	nutrición vegetal indirecta
uso de fertilizantes químicos	uso de fertilizantes naturales
fertilización soluble en agua	fertilización lenta (no soluble)
evaluación cuantitativa del suelo	evaluación cualitativa del suelo
bajo cuidado del edafón	alimenta y cuida el edafón
visión economicista,...	visión holística,...
detaillada y precisa	biológica y generalista
no respeta los ciclos naturales	imita los ciclos naturales
uso de pesticidas químicos	control natural de plagas
alto consumo energético	bajo consumo energético
maquinaria sofisticada	maquinaria pequeña



3171. Agricultura ecológica y permacultura. La agricultura ecológica es una de las variantes holísticas de la agricultura centrada en la sustentabilidad de la actividad. Comparada con la agricultura industrial (arriba-izquierda) busca la protección del suelo. La permacultura nace como un diseño de espacios de acuerdo con el estudio de la naturaleza (abajo) aprovechando los ciclos naturales para reducir el consumo de energía y favorecer la biodiversidad.

y para proteger al consumidor contra el engaño y fraude. Un equivalente privado son las normas de la IFOAM (*International Federation Organic Agriculture Movements*). El Codex contiene los principios de gestión para la producción de plantas, ganado, abejas y sus productos. La IFOAM agrega las fibras, acuicultura y productos forestales no madereros. Además se ocupa de la manipulación, almacenamiento, elaboración, envase y transporte. Incluye la lista de sustancias permitidas en la producción y elaboración de alimentos orgánicos. Son directivas dinámicas que se revisan para adecuar las sustancias permitidas y los procedimientos de inspección y la certificación.

Las objeciones. Más allá de las ventajas que se le atribuyen a los alimentos orgánicos, existen objeciones que es bueno considerar.

(1) Contaminantes microbiológicos. No debería ocurrir que exista mayor cantidad de contaminantes ya que deben cumplir las mismas normas de calidad e inocuidad que el resto y en algunos casos más estrictas. Se señaló al estiércol como fuente de contaminación microbiológica. Si bien se usa como abono, el estiércol está elaborado, por lo que es un fertilizante orgánico inocuo y un factor de nutrición muy eficiente. No se utiliza estiércol sin tratar en los 60 días anteriores a la cosecha. También se menciona como contaminante a *E. coli*, ya que hay cepas virulentas que proliferan en el sistema digestivo del ganado alimentado con cereales abundantes en almidón. Pero, el ganado alimentado con pasto y paja produce menos del 1% de *E. coli* que el alimentado con cereales. La alimentación del ganado orgánico contiene mayor cantidad de paja, pasto y ensilado, lo que reduce el consumo de forrajes.

(2) Hongos contaminantes. Se cuestiona la ausencia de fungicidas, así como la posible contaminación de micotoxinas a partir de mohos. Las toxinas de hongos, durante un período prolongado, pueden producir cáncer del hígado. Para evitarlo, los alimentos orgánicos deben respetar las buenas prácticas agrícolas, de manipulación y elaboración para que no se formen mohos. Otro punto de contaminación podría ser el envasado, elaboración, transporte y almacenamiento. El objetivo del envase es asegurar la estabilidad microbiológica durante un tiempo. El uso de ingredientes no agrícola está limitado en los alimentos orgánicos y no se permite combatir las plagas y evitar el deterioro con irradiación. Esto produce una menor inocuidad en los alimentos orgánicos y obliga al consumo inmediato.

(3) Menor cantidad de proteínas. En un estudio de alimentación de aves silvestres se comparó la preferencia entre alimentos convencionales y orgánicos. La etiqueta "orgánico" es preferida por muchos consumidores por diversas razones, pero en el caso de las aves prefirieron los alimentos no-orgánicos. La razón puede ser la cantidad de proteínas ya que se midió un 10% más en los convencionales. Esto se atribuye a la aplicación de fertilizantes. En los humanos el etiquetado "orgánico" (o similares) les da un halo de ética, de cuidado saludable, pero a la vez puede ser percibido como falto de garantías y de nutrición reducida.

(4) Se puso en duda la capacidad de la agricultura orgánica de alimentar a la humanidad, habida cuenta que la revolución verde se forja a la luz del hambre de la postguerra. ¿Cuál es el rendimiento de la agricultura orgánica? En el 2014 se publicó un estudio que analizó 115 estudios comparativos entre agricultura orgánica e intensiva. Se encontró que en promedio el rendimiento de los cultivos orgánicos es

19,2% menor. También se encontró que la diferencia podría reducirse a la mitad si se usan multicultivos (varias cosechas diferentes en el mismo campo) y rotación. En legumbres (lentejas, guizantes, frijoles) no se encontraron diferencias de productividad.

Permacultura. La palabra permacultura es una contracción de agricultura (cultura) permanente. Es un sistema que integra la vivienda y el paisaje en armonía, ahorra materiales, produce menos desechos y conserva los recursos naturales. Nace en 1978 de dos ecologistas de Australia para crear sistemas agrícolas estables. Fue una de las tantas respuestas a los métodos agroindustriales que, de acuerdo a sus criterios, estaban envenenando la tierra y el agua, reduciendo la biodiversidad y destruyendo el suelo. A comienzo de los '80 el concepto avanzó desde el diseño de sistemas agrícolas a ser un proceso holístico para crear hábitats humanos sustentables. Contribuyó a popularizar conceptos y prácticas ancestrales que habían ayudado a la perpetuación de las antiguas culturas agrícolas y cazadoras. Muchos de estos conceptos fueron explicados y revalorizados, y pasaron a formar parte del aspecto técnico de la permacultura. Se hizo evidente que los conceptos de diseño de la permacultura, además de la producción agropecuaria y forestal, podían ser aplicados a construcción, educación, economía y organización social. La ACNUR (Agencia Naciones Unidas para Refugiados) elaboró un informe sobre el uso de la permacultura en situaciones de refugio, tras el exitoso uso en los campos de Sudáfrica y Macedonia.

Permacultura es un término genérico que engloba la aplicación de éticas y principios de diseño de planificación, desarrollo, mantenimiento, organización y preservación de hábitats para sostener la vida. También es un movimiento internacional de practicantes, diseñadores y organizaciones. Los ejes centrales de la permacultura son la producción de alimentos, abastecimiento de energía, el diseño del paisaje y la organización de infraestructuras sociales. Integra energías renovables y ciclos de materiales para el uso sustentable de los recursos ecológicos, económicos y sociales.

Tiene tres ingredientes principales. (1) La ética aboga por el cuidado de la tierra y las personas y por poner límites a la población y consumo. Incluye la redistribución de los excedentes, que involucra a todas las especies. Se añaden dos Directivas: tomar plena responsabilidad para nuestras vidas y cooperar. (2) Luego están los Principios Ecológicos derivados de la observación de los sistemas naturales. (3) Finalmente, está el diseño de herramientas y procesos de largo plazo implementados y mantenidos con mínimos recursos.

Un hábitat diseñado por la permacultura es un sistema que integra al hombre en forma respetuosa y beneficiosa con animales y plantas. Se aplican conceptos de la teoría de sistemas, biocibernética y ecología profunda. El modelo son los procesos de autorregulación que se observan en sistemas ecológicos. El concepto libre de ideologías de la permacultura se abre tanto a los nuevos conocimientos y tecnologías como a los conocimientos "antiguos" milenarios y de todas las culturas.

Argentina: alimentos orgánicos. La ley 25.127 define como orgánico, ecológico o biológico a los sistemas agropecuarios, de recolección, captura y caza, que son sustentables; con un manejo racional de los recursos naturales; que evitan el uso de productos de síntesis química y otros con efectos tóxicos para la salud humana; que ofrecen



3172. Alimentos libres de GMO. La producción orgánica (arriba) no admite los productos de origen transgénico. La certificación non-GMO (centro-izquierda) en Estados Unidos identifica a empresas que producen alimentos con hasta 0,9% de transgénicos. En la Argentina, el molino Rivara (Alberti-Buenos Aires) procesa maíz, soja, girasol libre de GMO para harina, aceites y alimentos (centro). La empresa Chipotle fue cuestionada en la implementación de la política no-GMO por la falta de transparencia y no contemplar otros aspectos sobre la alimentación sana (derecha). La agricultura certificada es un proceso de RSTS y AAPRESID en la Argentina, para soja responsable (abajo-izquierda). El objetivo es la trazabilidad de la producción que respeta los lineamientos de la conservación del suelo. La AC requiere la aplicación de buenas prácticas: (1) cobertura del suelo; (2) rotación de cultivos; (3) manejo integrado de plagas ("control de plagas" en lugar de "eliminación de plagas"); (4) manejo eficiente y responsable de agroquímicos; (5) nutrición estratégica (fertilización racional para mantener el suelo vivo) y (6) gestión de la información ganadera (trazabilidad animal). El manejo de siembra directa permite mejorar la eficiencia en el uso de agua, nutrientes y energía. La perennización (derecha) es una propuesta que pretende cambiar el paradigma de los cultivos con mayoría de plantas anuales (raíces cortas) a mayoría de plantas perennes (de varios años). Permite usar plantas con raíces profundas que aprovechan mejor el suelo y el agua.

productos sanos; que mantenga o incremente la fertilidad de los suelos y la diversidad biológica; que conserve los recursos hídricos; que intensifique los ciclos biológicos del suelo; que proporcione las condiciones para obtener las características básicas innatas del producto. La ley indica que la certificación de los productos será efectuada por entidades públicas o privadas especialmente habilitadas a tal fin (por ejemplo, Argencert o SGS). La autoridad de aplicación tendrá plenas facultades para efectuar supervisiones de los establecimientos orgánicos y para auditar el cumplimiento de las reglamentaciones técnicas que regulan la actividad. Solo pueden comercializarse bajo la denominación de "orgánicos" los alimentos que hayan obtenido la certificación correspondiente y la autorización de la autoridad de aplicación para el empleo de tal denominación.

Certificación "non-GMO Project". Este proyecto nace en el 2005 en Estados Unidos para identificar los productos no transgénicos. Se utiliza el umbral de 0,9% que es coherente con la Unión Europea, donde todo producto con más de 0,9% de GMO debe ser etiquetado como tal en forma obligatoria. Una identificación "libre de transgénicos" es imposible debido a los riesgos de contaminación, de forma que se certifican los procedimientos rigurosos de selección. Para garantizar la procedencia de los componentes en el proceso de certificación non-GMO Project, se recurre a empresas especializadas que realizan las pruebas iniciales de certificación y la trazabilidad posterior. Por ejemplo, FoodChain dice tener verificados 26.000 ingredientes de 17.000 proveedores en 96 países (datos del 2015). Si una galleta utiliza miel, la empresa debe demostrar que las abejas no se alimentan cerca de productos GMO. La empresa certificadora dispone de una máquina que analiza el ADN en busca de rastros de GMOs. El costo del proceso de certificación puede ser muy alto si los componentes no están certificados con anterioridad. Una cadena de proveedores certificados agiliza todo el proceso.

Existe cierta dificultad para determinar la veracidad de los compromisos de las empresas, ya que se usan mensajes "políticamente correctos" (lavado verde). Por ejemplo, la empresa Chipotle ofrece comida rápida mexicana en Estados Unidos. En el 2015 declaró que no servía alimentos GMO, pero fue criticada por los siguientes aspectos: (1) Dice no usar alimentos GMO; pero se sirven gaseosas que utilizan jarabe de maíz-GMO. (2) Cambió el aceite de soja-GMO por aceite de girasol que no es GMO para evitar el uso de glifosato; pero para el girasol se usan inhibidores de ALS, otro tipo de herbicida. (3) La empresa dice preocuparse por el consumo de alimentos, pero utiliza 2 o 3 veces más sal que la recomendada por unidad de kcal, siendo que la sal plantea riesgos mejor documentados que los GMO. (4) Si se preocupara por la salud debería reconsiderar un menú con exceso de azúcares y tortillas de harina y sal. (5) Los productos cárnicos de cerdo y pollo que ofrecen siguen siendo de animales alimentados con dieta GMO.

Certificación Soja Responsable. La asociación RTRS (*Round Table Responsible Soy*) desde el 2006 delinea la producción y cadena de custodia (acopio, transporte y procesamiento) sustentable de la soja. No es parte de la agricultura orgánica, sino que es una forma de aproximar la agricultura industrial a un sistema sustentable.

Sus principios son: (1) cumplimiento de leyes y buenas prácticas empresarias; (2) condiciones laborales responsables (impide el trabajo infantil, trabajos forzados, discriminación y acoso); (3) relaciones responsables con la sociedad; (4) responsabilidad ambiental y (5) buenas

prácticas agrícolas. Las buenas prácticas incluyen: medidas de prevención (conservación del agua; cuidado de la vegetación natural; cuidado del suelo con siembra directa y cultivo de cobertura; rotación de cultivos; reducción de fitosanitarios mediante control mecánico de malezas; control de especies invasoras; control del origen de las semillas; administración de zonas de refugio de la biodiversidad); medidas durante el cultivo (registro de fechas, de daños por plagas, sobre la dosificación de fertilizantes); uso de alertas tempranas (información meteorológica); protección de cultivos (uso de insectos beneficiosos, uso de agentes de control biológicos, rotación de fitosanitarios, aplicación de espectro reducido y baja toxicidad, aplicación de precisión); reducción de emisiones químicas (uso de equipos calibrados, mantener zonas de amortiguamiento).

La RTRS permite la certificación de la producción y la cadena de custodia. En esta cadena la soja certificada y no-certificada permanecen separadas, lo mismo que la soja transgénica y no-transgénica. Además, se comercializan "bonos o créditos de producción de soja responsable" de forma que una granja productora de leche en Europa puede informar que compensa el uso de insumos locales adquiriendo bonos que garantizan la producción responsable al otro lado del mundo. Esta certificación impide cultivar terrenos desmontados después de 2009. La RTRS acepta el uso de GMO (con una cadena de custodia separada) y pesticidas como glifosato. El uso de buenas prácticas debe reducir el uso de pesticidas y apartarlo de los lugares habitados. También debería reducir la producción de monocultivos de soja, cumpliendo con las debidas rotaciones y manejo de coberturas. En el 2012 la producción global de soja certificada con RTRS fue solo de 1 Mt (millón de toneladas), sobre un total de 300 Mt.

En la Argentina la asociación de productores de siembra directa (AAPRESID) está involucrada en este tipo de certificaciones mediante AC (Agricultura Certificada). Este sistema de gestión de calidad declara como "buenas prácticas": la presencia de cobertura en el suelo; la rotación de cultivos; el manejo integrado de plagas; el manejo responsable de agroquímicos; la nutrición estratégica y la gestión de información en la ganadería; la eficiencia en el uso del agua, nutrientes y energía. Esta certificación puede servir en contratos de arrendamiento como una exigencia; testimonio de historia agronómica en la venta de campos; degravación impositiva y acceso al mercado de bonos; desarrollo de una marca país certificada (origen controlado); acceso preferencial a mercados o precios con valor agregado. El certificado se extiende a nombre del productor (no del propietario), dura 3 años y se realizan auditorías para validar el sistema. No es aplicable para montes y pasturas naturales. Algunos argumentan que debido a las exigencias tecnológicas, se puede llevar a la agricultura a una nueva fase de "insumo dependencia" camuflada detrás de la defensa del ambiente. Otros pueden argumentar en contra diciendo que la certificación RTRS incluye a los biocombustibles, GMO y pesticidas.

Agricultura perenne. La perennización de la agricultura es una propuesta realizada como "ley agrícola de 50 años" para lograr la sustentabilidad en la provisión de alimentos. Dice que las prácticas agrícolas industriales no protegen el suelo. Incluso la agricultura sin labranza (siembra directa) se aplica sobre cultivos anuales que se cosechan y se retiran del terreno. Aun cuando se dejan los restos de la cosecha, la cubierta muerta no es una protección adecuada para el terreno. La norma más importante es la obligación de mantener el terreno cubierto con plantas perennes (que duran varios años) la

mayor parte del año. Se deben crear plantas perennes productoras de granos, semillas oliaginosas y leguminosas, además de los forrajes y árboles.

Las plantas perenne son las que dan una protección a largo plazo y hoy día solo el 20% de la superficie es perenne y el 80% son cultivos de estación. Esta iniciativa propone que en 50 años la relación se invierta y que los forrajes y granos provengan de plantas perennes. Cultivadas en mezcla con gramíneas (leguminosas), las penneses resultan más autosuficientes y menos dependientes de la química industrial. Las plantas anuales tienen un ciclo de desarrollo de algunos meses y

las raíces llegan poco profundo. En cambio, las perennes tienen raíces profundas que aprovechan una capa más amplia del suelo, consumen 5 veces menos agua y 35 veces menos nitratos. Además las hojas están presentes todo el año para aprovechar la luz y el agua e impedir la pérdida de suelo. Como complemento, se deberá reducir el confinamiento en la producción pecuaria (cría a corral) aumentando el pastoreo. Esto ayudaría en la salud ecológica y convertiría un problema como los residuos del ganado en un aporte de fertilizantes espaciados en el terreno. Un problema similar se encuentra en la materia fecal de los seres humanos que se pierde indefectiblemente cuando debería tener un retorno al ciclo de la producción de alimentos.

La ganadería (i): producción bovina intensiva

Un planeta carnívoro. La mejora de calidad de vida global para un planeta superpoblado sería casi imposible sin una producción industrial de ganado. Quizás en el futuro las costumbres alimentarias se adapten a otro tipo de proteínas, pero hay mucho por discutir al respecto. La producción animal intensiva (industrial o de factoría) se concentra en la bovina, ovina y porcina entre los mamíferos y la avicultura (aves de corral). De diferentes características son la acuicultura (peces en criaderos), la apicultura (miel y polinización); la lombricultura (abonos orgánicos) y la crianza de equinos (para deporte y trabajo). Los animales domesticados para producción fueron modificados por selección artificial y cruza por cientos de años, y hoy día se aplica la mutagénesis, clonación y transgénesis. Es así que, la raza original del ganado bovino desapareció (*Bos taurus*), aunque del porcino aun existe (jabalí, *Sus scrofa*).

La producción intensiva se inicia en 1947 en Inglaterra cuando se entregaron subvenciones para reducir la dependencia del exterior. Hoy día, el ganado no solo aporta carne, leche, grasa, cuero y pelos, sino que se utilizan también los huesos y el estiércol. En dos siglos la producción agrícola se multiplicó por 16 y la cantidad de humanos en 7 veces. Desde 1930 la población agraria de Estados Unidos se redujo del 24% al 1,5% y cada agricultor pasó a alimentar de 11 a 90 habitantes. Hoy día 4 empresas en Estados Unidos producen el 81% de las vacas, 73% de ovejas, 57% de cerdos y 50% de pollos. Según la FAO, en el 2007 se consumieron 59.000 millones de animales, donde el 85% eran pollos. Suman 120 Mt que se deben adicionar a 140 Mt anuales de peces. Ocupan el 60% de las tierras agrícolas (incluyendo la producción de granos como alimento). Estos animales para consumo pesan 16 veces el total de los animales salvajes. Es la "producción industrial" en un "planeta carnívoro"; ¿sustentable? ¿reemplazable?...

La producción industrial entrega una elevada eficiencia (máxima producción por unidad de animal, tiempo y superficie); adaptabilidad (se ajusta a las variaciones de la demanda); homogeneidad (tamaño y peso iguales para una distribución a gran escala); bajo costo monetario (reduce el costo final al consumidor, aunque no considera los costos externos como la contaminación) y garantiza la seguridad alimentaria (facilita los controles de sanidad animal). En cambio, la ganadería extensiva tiene menor impacto ambiental (gases GEI o consumo de agua); requiere mucho menos combustible fósil (20 veces menos); contribuye a mantener el agrosistema y la biodiversidad; permite el

mantenimiento de la cubierta vegetal; los animales sufren de menos stress. Aunque, los productos son menos homogéneos; con tiempos de producción variables y dependientes del clima.

De la Argentina se dice que produce alimentos para 400 millones de personas. Pero en realidad lo que más produce es harina de soja que procesa en 30 plantas cercanas a Rosario sobre el río Paraná (en la Hidrovía) y que pueden procesar 55 Mt de soja al año. La harina se exporta para alimentar animales en todo el mundo y reemplaza la harina de pescado. Si el mundo está en una transición dietética hacia proteínas animales, la Argentina debería producir vacas y cerdos en lugar de harina. Con un stock ganadero de 20 millones de vientres vacunos, el consumo en nuestro país es de 125 kg/año/hab de carne en general (60 kg/año/hab de vaca, 46 de pollo, 11 de cerdo y el resto en chacinados y pescados).

Engorde a corral. La palabra emblemática es *feedlot* y designa los corrales para el engorde de ganado vacuno ("hotelería de engorde"). Surgió ante la necesidad de reorientar la producción ganadera por el incremento de tierras para cultivar soja. En Estados Unidos y Europa se tienen regulaciones para limitar la contaminación ambiental y los problemas sanitarios que genera la concentración de ganado en pequeñas superficies. En la Argentina, por el momento el *feedlot* se reserva para la etapa final de engorde (3 meses), pero es probable que su uso se extienda a períodos cada vez más largos de su crianza. El modelo es similar a los criaderos de pollos, el cual se convirtió en el sistema más eficiente para convertir proteína vegetal en animal. En el 2010 se estimaba que había 2.200 *feedlots* en la Argentina.

El trabajo intensivo en corral se presenta con 2 objetivos: (1) para engorde, con un tiempo limitado de 3-4 meses, aumento de 1,5 kg/día (ingreso con 200-250 kg y salida con 350-400 kg) y uso de forrajes poco importantes y (2) para lechería, con plazos de varios años (3-4 años), priorizando la longevidad, con alto consumo de nutrientes y forraje de calidad en la dieta. Para engorde los corrales son externos, abiertos, con poca mano de obra y mínimo manejo del ganado. Para lechería los corrales son cerrados con comederos internos, alto uso de mano de obra y manejo continuo de los animales. El objetivo básico es producir el mejor resultado (carne o leche) en el menor tiempo, ocupando un menor espacio y con un mínimo gasto de energía de parte de los animales. Otros objetivos son: dar valor agregado a los cereales trans-

formándolos en carne o leche; liberar superficie de campo para otros usos; acortar el período de engorde y lograr una buena terminación.

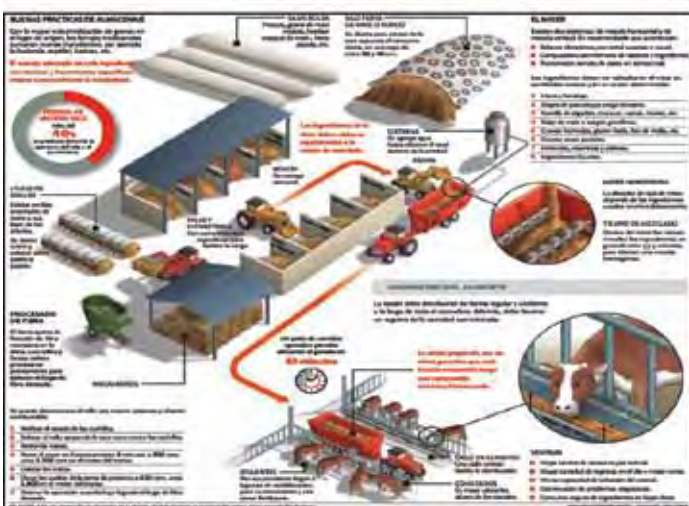
El costo de la alimentación en corrales es mayor al pastoreo tradicional en campo abierto. Se requiere más personal y por eso se obtiene menor margen por kilo final. La dieta debe ser alta en nutrientes y usar forrajes (heno o pastos); debe ser energética (granos y aceites) y proteica (soja, harina de pescado); se usará mezcla de minerales y aditivos (incluidos los medicamentos). Este tipo de dieta requiere de un período de aprendizaje por parte del animal, quien debe familiarizarse con el cambio de alimento, el uso de los comederos y el cambio en la estructura social en los corrales.

Según un trabajo del INTA (2003) la integración del sistema pastoril con el *feedlot* aprovechan las bondades de ambos métodos. Ofrece la posibilidad inicial de usar alimento económico (el pasto) e intervenir con suplementos al final para ganar peso y carga. El sistema combinado (pastoril-*feedlot*) aumenta la plasticidad de la producción y permite productos para diferentes nichos de demanda. El INTA menciona que los problemas se presentan en sistemas muy intensificados y dependiendo de la alimentación usada.

¿Sostenibilidad? La producción de proteína animal en forma industrial tiene cuestionamientos muy fuertes.

(1) Dependencia energética. Es un procedimiento efímero porque requiere el aporte de combustibles fósiles para casi todas las etapas de producción, incluyendo el alimento para el ganado. Alguien dijo: "tuvimos éxito en transformar un rumiante alimentado con energía solar, en una máquina consumidora de combustibles fósiles". Para la alimentación se usan granos y pastos. Los animales que se alimentan con granos al 30% pueden tener abscesos hepáticos, lo que justifica el 80% de los antibióticos usados.

(2) Salud pública. Para la salud humana, la grasa que acompaña la carne alimentada en corrales está altamente saturada y se relaciona con las enfermedades cardiovasculares. En cambio, los animales de pastoreo llevan una dieta de forraje con altas concentraciones de ácidos grasos poli-insaturados (omega6 y omega3). La relación omega6/omega3 en animales de *feedlot* es mayor a 10:1, siendo de 4:1 una relación adecuada y saludable. La mayor proporción de omega3 (antes llamada vitamina F) se encuentra en pescados y vegetales.



3211. Ganadería intensiva. La ganadería tiene un régimen de buenas prácticas que expone las diferencias entre la ganadería intensiva a corral con alta densidad de animales (arriba-izquierda) y la ganadería extensiva (engorde a campo) en convivencia con el ambiente silvestre (derecha). Una instalación de engorde a corral (*feedlot*) muestra las zonas más importantes del establecimiento (abajo-izquierda). El *feedlot* para lechería y engorde tienen diferencias sustanciales (derecha). Como forraje, el heno de alfalfa es la fuente primaria de fibra y ayuda a estabilizar las fermentaciones ruminales, en tanto se suministran granos como alimento de proteínas. El grano alimenta y la fibra mantiene activo al sistema digestivo del rumiante. El balance correcto determina el rendimiento por hectárea de leche. La dieta es la mezcla de diversos ingredientes que se acopian en fardos, rollos o silo-bolsa y el agregado de agua.

(3) Uniformidad genética. La selección dirigida en la reproducción genera una uniformidad genética que reduce las defensas contra enfermedades, haciendo más necesario los medicamentos. También produce una reducción en la diversidad de razas en los animales de granja, lo que limita la capacidad de evolución y adaptación a largo plazo. El acinamiento es clave para aumentar la eficiencia en kg/m², y el uso de antibióticos y pesticidas para controlar la propagación de enfermedades. Además, los antibióticos ayudan al desarrollo acelerado del animal. Esto genera varios cuestionamientos éticos derivados de considerar al animal como una mercancía para ser explotada con fines de lucro.

(4) Contaminación por residuos. Una zona de granjas de productos lácteos con 2.500 vacas produce tantos desechos como una ciudad de 400.000 habitantes donde no se realiza el tratamiento cloacal. La concentración de excrementos y orina empeora en las zonas de lluvias (posibilidad de anegamientos) y alta temperatura. El nitrógeno y fósforo puede llegar a los acuíferos y producir contaminación de las napas freáticas. Los *feedlot* deben ubicarse lejos de los arroyos y los pisos deben estar compactados para evitar la infiltración. Recibieron críticas por el olor que puede impactar en poblaciones cercanas y la proliferación de moscas y aves (palomas y gaviotas). Se considera zona crítica o sensible la que está hasta 3 km de distancia.

(5) Derechos de los animales. Los defensores de los derechos de los animales critican las situaciones de alimentación; incomodidad y dolor; lesiones y enfermedades; stress (miedo, angustia y frustración), entre otros aspectos. El confinamiento y hacinamiento limita el ejercicio y el comportamiento natural de locomoción, por lo que debilita los huesos y músculos. Además cambia las costumbres naturales de exploración y relaciones con los vecinos. La crueldad fue denunciada en muchos casos y dio lugar a movimientos como el vegetariano y vegano. La crueldad también se manifiesta en la selección artificial para obtener animales magros, que de por sí, son débiles. Pero aun falta agregar la producción de animales transgénicos con una variabilidad casi infinita, que incluye animales que no sienten el dolor.

(6) Animales clonados. En la actualidad, en la Unión Europea está prohibido clonar animales para el consumo, pero se importan células, semen y leche de animales clonados. Clonar no resulta rentable y sigue siendo un proceso muy ineficiente. El estado actual de los estudios dice que la carne de animales clonados es idéntica a la carne convencional y no encierra riesgo para el consumidor. La proporción de carne de clon en el mercado no se registra en las estadísticas y es muy reducida. Los animales clonados son más propensos a enfermar, tienen más complicaciones en el nacimiento y malformaciones; en tanto que los descendientes de animales clonados no tienen problemas especiales. Al no existir un registro obligatorio y con la importación de semen de animales clonados, no se podrá saber con seguridad si la carne proviene de un animal clonado o no. Hasta ahora no se exige un etiquetado especial para estos animales y aparece como inútil ante la imposibilidad de asegurar que no proviene de una descendencia clonada.

La inseminación artificial. Cuando se habla de "genética" en ganadería se refiere a la selección entre los mejores ejemplares para la característica que se busca. Por ejemplo, puede buscarse ejemplares que soportan el calor del nordeste de la Argentina. La genética y el rendimiento (de preñez, de parto y de destete del ternero) se mejora mediante la inseminación artificial usando semen de los mejores

machos. En los últimos años se puso a punto la técnica de IATF (Inseminación Artificial a Tiempo Fijo) que se usa para sincronizar a todas las hembras con el objetivo de lograr un ternero por año por vaca. La inseminación debe hacerse en los 90 días del parto (incluye 2 o 3 celos fértiles). Para que el ternero recién nacido tenga el mayor peso al momento del destete debe hacerse la preñez lo antes posible. Para lograr el mejor resultado se procede a un tratamiento hormonal de forma que todas las vacas se inseminan el mismo día en una ventana de pocas horas. El éxito de preñez es del 50-60% en la primera inseminación. Luego se hace un "repasso" mediante toros en la forma natural. Este sistema acorta la temporada de servicio y logra una parición sincronizada para un mejor plan sanitario de todo el grupo.

La inseminación artificial es una manipulación que se usa en los seres humanos, por lo que no tendría objeciones especiales para los animales (más allá de las genéricas para toda la producción ganadera). Sin embargo, la inseminación a tiempo fijo realiza una manipulación hormonal adicional para sincronizar a todas las vacas y hacer el proceso de inseminación a la vez. Aquí los argumentos éticos pueden ser mayores.

El caso: "biogas de estiércol". Una forma de mejorar la sustentabilidad de la ganadería industrial es aprovechar el estiércol mediante la recolección y procesado. Por ejemplo, el *feedlot* Combers (Tordillo, Buenos Aires) realizó los siguientes cambios al *feedlot* tradicional para la adaptación: (1) Se redujo el tamaño de los corrales de 50x80 m a 25x20 m (8 corrales por cada uno anterior). La carga asignada es de 5 m² por animal (100 animales por corral). (2) Se extendió un techo de 3,5 m de ancho sobre los comederos de cemento para morigerar la temperatura. (3) Los pisos se hicieron de hormigón para que el estiércol no se contamine con la tierra. Antes, los corrales eran con piso de tierra formando lomas centrales con pendiente pronunciada y el estiércol se descomponía en el lugar. En el 2015 tenían corrales para 20.000 animales. (4) La recolección de estiércol es hídrica: la bosta se empuja sobre el hormigón que tiene una pendiente poco pronunciada hasta la cámara séptica desde donde se bombea al biodigestor. (5) El biodigestor es una cámara cerrada que funciona en forma anaeróbica liberando metano, el cual se aprovecha para generar electricidad para el establecimiento. (6) Se incorporó iluminación nocturna para aumentar las horas de alimentación. La extensión del sistema a todo el complejo permitirá vender energía eléctrica fuera de la empresa. (7) La alimentación es una dieta húmeda donde el 60-70% es a base de maíz, girasol y afrecho de trigo. Dicen haber conseguido un incremento de ganancia de peso del 25% (de 1,2 kg a 1,5 kg/día) debido a la reducción de ejercicio y extensión de iluminación y que la mortandad bajó en un 50% debido a las condiciones de higiene en el piso. Algunas de estas acciones son copiadas de la producción aviar, porcina y de los *feedlot* europeos de alta densidad.

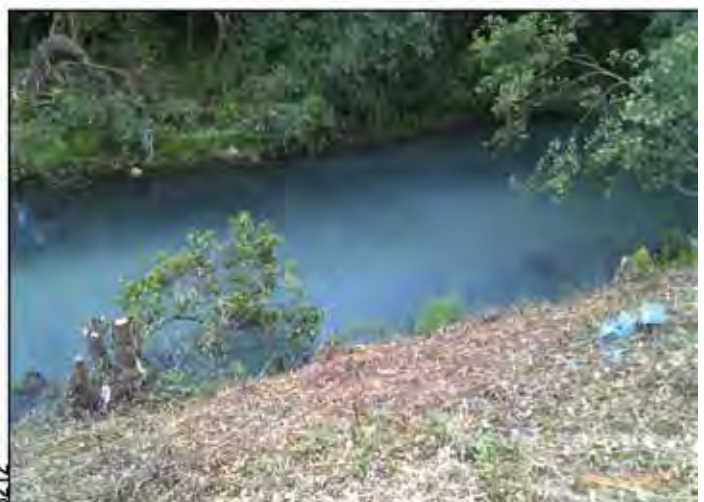
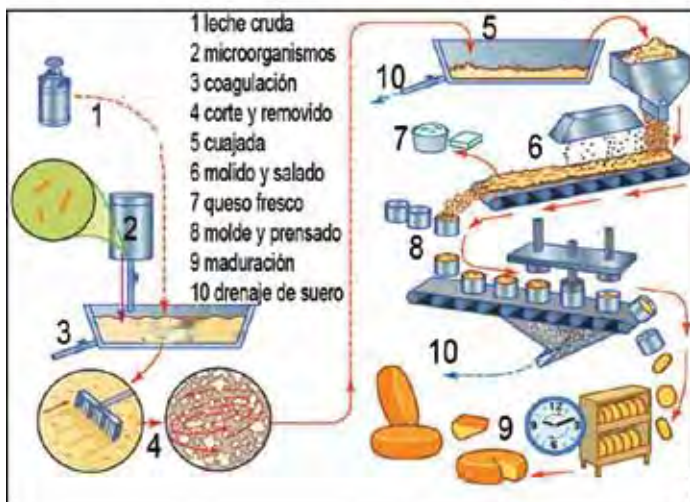
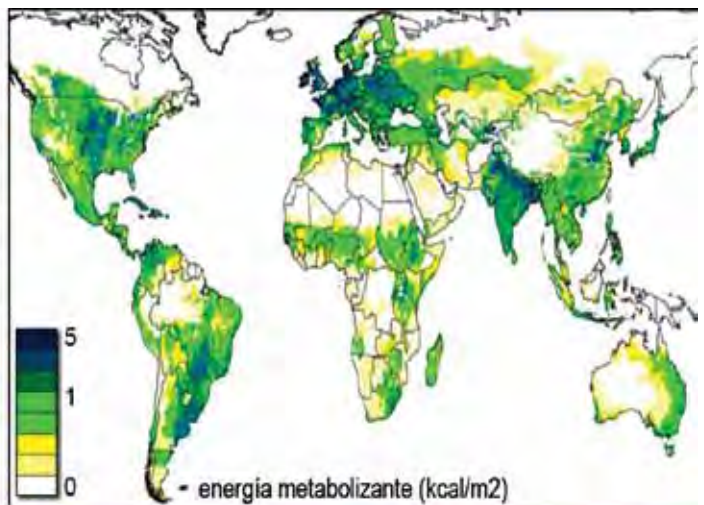
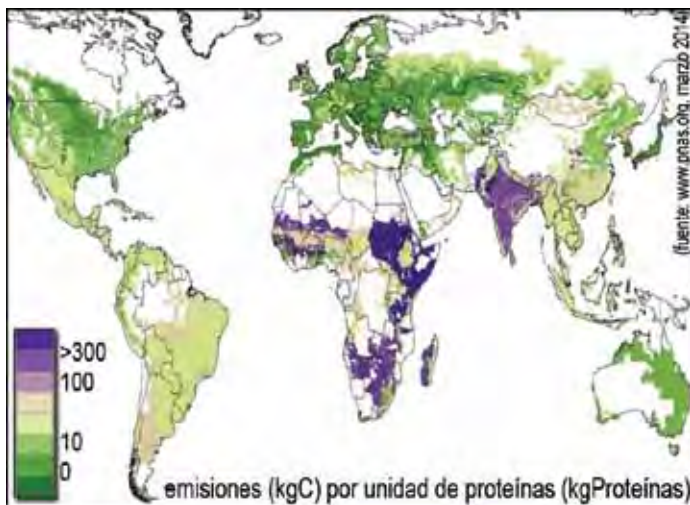
Derivados: leche y queso. La producción lechera más eficiente está en California. Con igual cantidad de vacas que en la Argentina producen el doble de leche, 10.000 litros por vaca al año. En los lugares de máximo rendimiento llegan a un 50% adicional (40 litros al día). En la Argentina hay 1,7 millones de vacas que producen 18 litros de leche al día. Para lograr altos rendimientos se requiere una alimentación con menor área de pastura e incrementar la alimentación de maíz y sorgo. Las diferencias entre los 2 países se concentran en dos líneas: el bienestar animal y el bienestar de la comunidad de trabajadores del tambor. Una encuesta en la Argentina indica que el principal problema no es

el salario sino las condiciones de trabajo. Por ejemplo, iniciar el día de noche (4-5 de la mañana) para buscar a las vacas en campo abierto. En Noruega se investigaron 812 rebaños de vacas lecheras. Los rebaños que se alimentan sueltos en el campo tenían más conflictos, se alimentaban menos y rendían menos leche. Los rebaños encerrados forman una comunidad más estable y tienen mayor sanidad y producción.

Una crítica es sobre la calidad de vida de las vacas lecheras. Son inseminadas artificialmente en varias ocasiones (promedio 4) para lograr períodos de lactancia regulares y anuales (mejorado por el uso de hormonas). Los terneros son separados de las madres y criados para engorde mediante sustitutos lácteos. Se reserva la leche de la madre para consumo humano. Luego de algunos años (promedio 6) se las sacrifica cuando no son útiles para el tambo (enfermedad, infertilidad o baja producción). Las vacas CUT ("con cría último ternero") se retiran del rodeo al momento del destete.

No todo lo que damos de comer a la vaca termina en leche, mucho es consumido por el stress. Los procesos de adaptación (cambios de dieta, cambios en el orden social, cambios de potreros) implican stress y pérdidas de rendimiento. Si estos cambios son muy importantes se agrega la baja en las defensas ante enfermedades. Una vaca lechera sufre stress porque le sacan la cría cuando nace, la dieta es muy distinta a la natural y en lugar de amamantar la ordeña una máquina. La vaca lechera está genéticamente desbalanceada, con glándulas mamarias de alta productividad (100 litros al día) pero con un sistema digestivo e inmune que no acompaña.

La producción de alimentos mantuvo una tendencia hacia los grandes establecimientos, pero hoy día hay una reversión hacia unidades de producción más pequeñas y tecnologicadas. Por ejemplo, una técnica (VitalHerd) se basa en una cápsula inteligente (10 cm de largo) que traga la vaca y se aloja en el sistema digestivo. Este dispositivo



3212. La eficiencia energética ganadera. La ganadería usa 30% de la superficie terrestre libre de hielo y aporta el 40% del PBI agrícola. Es una actividad de bajo rendimiento, porque a cada paso de "valor agregado" se pierde cerca del 90% de la energía invertida. El rendimiento de la ganadería depende de la forma de producción. Por ejemplo, la huella de carbono (eficiencia en emisiones CO_2) por unidad de proteína animal (arriba-izquierda) es mayor en sistemas extensivos (pastizales) respecto a los sistemas intensivos. Así, África es mucho menos eficiente que la región pampeana (emite 10 o más veces CO_2). Otra forma de ver la eficiencia es la producción de "energía metabolizante" por unidad de superficie. Una caloría es la cantidad de energía necesaria para elevar un grado centígrado la temperatura de 1 gramo de agua (p.e., 1 gramo de proteínas aporta 3,5 kcal). Una parte de las proteínas que consume una vaca se transforman en energía metabolizante en las células y se aprovecha para mantenimiento (calor) y crecimiento (músculos y grasa). Este valor es mayor en los sistemas intensivos (derecha), donde la región pampeana es más eficiente que África (cerca de 5 veces). Para un análisis más completo, la "eficiencia" debe completarse con la sustentabilidad de la producción. La producción lechera y los derivados (quesos) es una alternativa de producir valor agregado en la ganadería. La secuencia de producción de quesos (abajo-izquierda) nos muestra los momentos donde se extrae un "drenaje de suero" que puede ser un contaminante. Este material es rico en proteínas y suele aprovecharse para otras aplicaciones. Sin embargo, si se escapa al exterior puede producir la contaminación de las aguas superficiales o las napas subterráneas (derecha) debido al contenido graso.

se comunica via wifi cada 15 minutos para enviar datos del ritmo cardíaco, respiración, temperatura y contracciones del sistema digestivo. De esta forma cada animal pasa a generar datos para conocer la salud en forma online.

La industria de la leche puede ser contaminante porque genera 2 kg de CO₂ por cada litro de leche. Cuando se produce queso solo una parte de la leche (10 a 20%) se convierte en el producto final y si se descarta puede contaminar el suelo y el agua. La producción de queso incluye: pasteurización (mediante temperatura); homogenización (mediante mezclado) y coagulación (mediante cuajo o enzimas). En este punto se separa la masa del líquido mediante filtración con membranas de poros muy pequeños para retener las proteínas en su interior. Luego se procede al moldeo (dar forma a la pieza), prensado, salado (sumergiendolo en una tina con sal) y la maduración (reposo en salas acondicionadas). El líquido separado es agua con alto contenido residual de lactosa (azúcar de la leche), que lleva fósforo, nitrógeno, grasas y proteínas. Se denomina suero residual y contiene unos 6 gramos/litro de proteínas. Previo a ser descartado se usa para hacer ricotta. Pero,

si no se realiza un tratamiento es un contaminante de suelos y aguas. Como uso residual se puede vender en forma de fertilizante de bajo grado para campos o como alimento para cerdos. Existen aplicaciones específicas que usan grandes tanques para producir metano mediante fermentación anaeróbica y se usa para calefacción o electricidad.

En el 2015 se publicó una revisión de 200 estudios sobre leche convencional y orgánica. Se asimila "leche convencional" a aquella que proviene de vacas alimentadas con concentrados, en contraposición con las alimentadas en pastizal. Sin embargo, las granjas orgánicas son un paso más que la simple alimentación. La comparación del estudio se realizó sobre los ácidos grasos de la leche y se encontró que las diferencias se deben a la alimentación y no a la producción en granjas orgánicas. Las diferencias encontradas se refieren a genética, salud, alimentación y gestión, no se encontró una diferencia ligada a lo orgánico contra lo convencional. En otro estudio se encontró que las granjas orgánicas tienen deficiencias en zinc, yodo y selenio. Debería administrarse una dieta suplementaria, como fuentes naturales de estos elementos (el yodo puede obtenerse de algas).

La ganadería (ii): otros tipos de proteína animal

Tipos de ganado. El ganado porcino (cerdos) tiene las ventajas de un rápido ciclo de gestación, el alto número de crías en cada camada (10-12 crías) y el ciclo de acumulación rápido de carne. Además son omnívoros, lo que facilita la alimentación. Si las condiciones de crianza no son adecuadas pueden portar gran número de parásitos (triquinosis) y por eso se recomienda comer la carne bien cocida o congelada (al menos un mes). Un problema especial de este tipo de ganado es que los animales pueden volverse silvestres (cimarrón) y ser un problema para el ecosistema. En ciertos lugares deben cazarse para evitar que sean una plaga.

El ganado ovino tiene una sola especie, la original (*Ovis orientales*) es la misma que la domesticada. Producen 2 crías por camada, mucho menos que los porcinos, por lo que su principal función no es la carne sino la lana y leche. Por la forma de comer (arrancan el pasto) pueden sobreexplotar los terrenos. Los estudios científicos probaron que las ovejas forman amistades, tienen reconocimiento emocional hasta de 50 individuos diferentes y recuerdan acontecimientos por hasta 2 años. Los informes relacionados con la conciencia animal se convierten en una barrera para la explotación industrial.

Un ganado más extensivo es el caprino (*Capra aegagrus hircus*). Es apreciado para terrenos escarpados, resisten las noches heladas de montaña o al calor del verano y resulta excelente en transformar hierba en leche. Mientras una vaca produce 12 litros de leche por kg al año, una cabra produce 14 litros/kg/año. Todo esto trabajando en terrenos de calidad pobre.

Muy diferente es el ganado equino, que no se dedica a la producción de alimento sino al trabajo y diversión. El primer caballo clonado nació en el 2010, pero el éxito (ser una copia del progenitor) no está garantizado ya que la compatibilidad genética es del 98% y la alimentación y entrenamiento hacen las diferencias. En el 2014 un caballo

producto de clonación jugaba con éxito en las canchas de polo. La clonación cuesta 10 veces más que el espermatozoide de caballos campeones. En tanto, el Jockey Club de Estados Unidos prohíbe que los caballos clonados compitan en carreras ecuestres.

También pueden ser utilizados ciertos animales domésticos (llamas) o silvestres. Por ejemplo, el ñandú es un ave que se cría en libertad y se reintrodujo de muchos campos. La carne puede ser apreciada, pero además el cuero es de utilidad. Es durable, tiene una textura única y suave. Cuando se faena el cuero se mantiene con las plumas, luego se quitan las plumas (mediante remojo, desplumado, se eliminan las calas y se purga). Se obtienen 0,7 m² de material para marroquinería, aunque por el momento el mercado es muy reducido.

El caso: "del maíz al salame". Un modelo de integración de la cadena alimenticia se muestra en Tandil con la producción de maíz-cerdo-salames. Los campos de siembra están en una zona con pendiente por lo que se realiza siembra directa sobre curvas de nivel para asegurar la infiltración. Algunas zonas de pendientes no se usan para maíz por la falta de profundidad de suelo. Donde es posible se siembra el maíz corto para cosechar temprano y entregarlo a las madres en el criadero. La rotación es: (1) terrenos poco profundos se alterna trigo o cebada con soja y (2) terrenos profundos se alternan maíz-maíz-girasol. Lo producido de maíz y soja se utiliza en forma controlada en los criaderos de cerdos. En el 2014 el criadero tenía 1.000 madres y consumía 7.000 toneladas de maíz al año. Los cerdos requieren 2,5 kg de alimento por cada 1 kg de carne. La calidad del alimento es muy importante porque los cerdos tienen un plazo fijo de engorde ya que llega la próxima camada que requiere el lugar. Tienen 2,5 partos al año con 10 capones en promedio por parto. El engorde es hasta los 120 kg. En el frigorífico se procesan los chacinados que salen con la marca Cagnoli y que requiere cerca de 12.000 toneladas al año de carne de cerdo. También en Tandil, la empresa Produlac integra la cadena desde la

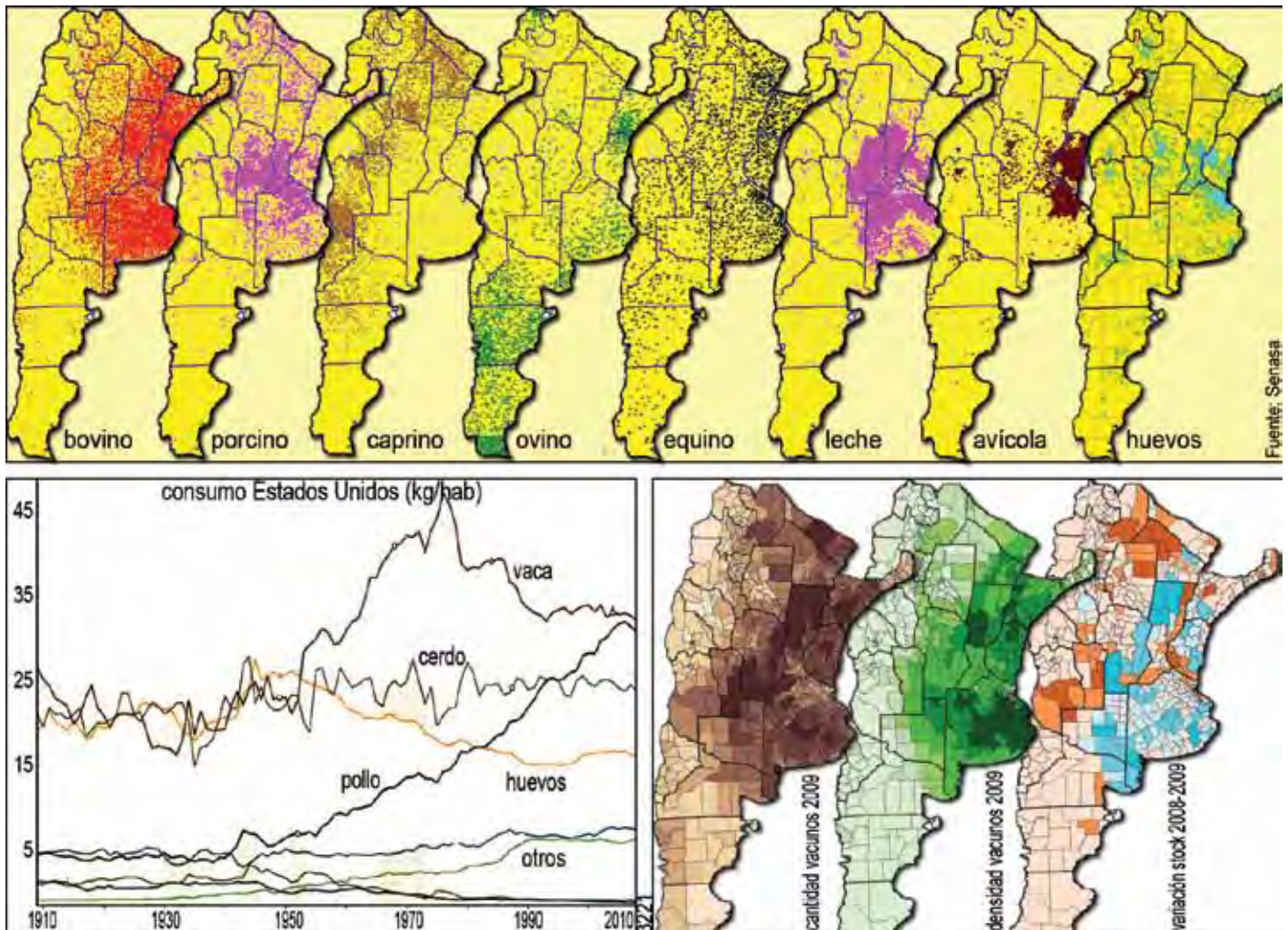
ganadería de vacas y ovejas para la producción lechera. Todos los días la leche llega a la fábrica de quesos donde se producen y estacionan.

Avicultura intensiva. Los pollos industriales (95% de la producción) son criados en fincas de forma estandarizada. La densidad es de 10 a 20 aves por metro cuadrado, con luz artificial constante, alimentación las 24 horas y condiciones térmicas controladas. Reciben estimuladores de crecimiento y vacunas obligatorias (antibióticos y bacteriostáticos preventivos). Los problemas provienen del hacinamiento, ya que no hacen gimnasia, ni desarrollan los músculos y podrían tener problemas de inconducta social. Se faenan a los 48-50 días con insensibilización mediante descargas eléctricas.

Los pollos "de campo" (1-2% de la producción) se encuentran en el otro extremo. Viven el doble (85-90 días) y pesan un promedio de 2,8 kg. Se usa la misma genética que los industriales y comen lo mismo. Pero, luego de un primer mes viviendo en condiciones similares, se los suelta al exterior, donde comen algo de pasto, se mueven y caminan. Al tener más edad y más desplazamiento, su carne tiene otra consistencia. El pollo de "traspatio" es el clásico pollo criado en las quintas. Llegan a pesar 6 kg, se crían en libertad, sin controles, y reciben alimentación

irregular 1-2 veces por día, sin balance de nutrientes. Las vacunas se aplican de forma aleatoria y sacan mucho tono muscular debido al exceso de marcha en busca de comida. En general, la faena es manual y cruenta. Otra alternativa son los pollos ecológicos o pastoriles que se crían en granja, viven del pastoreo y en cobertizos con 1-2 animales por metro cuadrado. Reciben alimentación balanceada con granos y suplementos minerales y no usan estimuladores de crecimiento ni iluminación artificial. El pollo descansa y su ciclo de crecimiento es de 70 días. Los vacunan sin antibióticos y hacen buena gimnasia.

En la Argentina los pollos alcanzan un tamaño considerable gracias al avance de la selección genética, con alta producción de carne en menor tiempo y con menos demanda de alimento. En los últimos 35 años, se incrementó 600 gramos el peso con 30 días menos de crianza. El alto índice de reproducción permite seleccionar a los individuos con mayor crecimiento y dejarlos como reproductores. Un pollito de 50 gramos, en 50 días aumenta 50 veces su peso. El 90% de su alimento está compuesto por maíz (63%) y soja (27%). El resto lo componen salvado de trigo, sorgo, harina de maíz y poroto; además se les administra vitaminas, aminoácidos, minerales, gluten, conchilla molida y ceniza de hueso.



3221. La producción y consumo. En la Argentina las zonas de producción de proteína animal están diferenciadas por clima y suelo (arriba). Algunas, como el caprino y ovino, son complementarias con el resto. A lo largo del tiempo las preferencias por la carne han cambiado (abajo-izquierda). De forma que en Estados Unidos el máximo de consumo de carne vacuna por habitante ocurrió en los años 70 y el consumo aviar aumenta desde los años 50. En las últimas décadas la agricultura desplazó de las mejores tierras a la ganadería. La cantidad de vacunos y la densidad (derecha) se concentran en un primer cordón periférico al núcleo de la agricultura que ocurre en el sur de Santa Fe. Sin embargo, cuando se observa la variación anual se encuentra una tendencia que cae en estas zonas (azul) y aumenta en un segundo cordón más lejano y conocido como frontera agropecuaria (rojo).

Gallinas ponedoras. Las alternativas de crianza de ponedoras son a piso o en jaula. La cría de animales en libertad redundará en una mejora en la salud y bienestar del animal. El pasto verde, aunque no es muy alimenticio, mejora la pigmentación del ave y la yema de los huevos. En Europa el descrédito de la crianza en jaulas motivó un sobreprecio en los huevos de ponedoras a campo. Las buenas prácticas incluyen: terreno con pendiente y gallineros sobre terraplenes; cuidar la orientación del sol en invierno y de los vientos; cuidar la separación entre galpones y la ventilación natural para reducir los gases (humedad, CO₂ y amoníaco); no sobrepoblar; usar viruta, arena o materiales absorbentes como piso; mantener la temperatura entre 32-35 °C a 5 cm del piso.

Los problemas. La avicultura intensiva es cuestionada por el bienestar animal; posibles problemas de calidad y el uso de antibióticos. El pollo fresco tiene un período de conservación de 7 días y puede producirse un problema de mal olor debido a la proliferación de bacterias que descomponen sus proteínas. Puede deberse a una mala gestión de conservación y almacenamiento. Una crítica se refiere a que el pollo desprende agua durante la manipulación y cocción, lo cual depende del método de enfriamiento usado después de su faena. El animal eviscerado debe bajar la temperatura gradualmente antes de entrar en la cámara frigorífica. Si se pasa por un túnel de aire frío humidificado, el remanente de agua será mínimo. Los productores industriales suelen enfriarlos por inyección o inmersión en agua fría con hielo. Una parte del agua permanece en la carcasa del ave y es liberada al entrar a temperatura ambiente.

Una crítica muy difundida es el uso de hormonas; pero resulta infundada. No existe ninguna hormona de crecimiento de pollos en forma comercial. Además, no tendría efecto, ya que viven muy pocos días como para actuar. El mito de las hormonas en los pollos está relacionado con la avicultura en Europa de hace 50 años. Se usaba un estrógeno sintético para castrar hormonalmente a los machos y obtener un mayor engorde y una carne más tierna. Sin argumentos que sostengan los peligros por el uso de hormonas, el problema se concentra en el uso de antibióticos.

Los antibióticos. El uso de antibióticos se remonta a China hace 2.500 años, donde se aplicaba con fines terapéuticos una cuajada moho de soja sobre las infecciones. La tetraciclina es un antibiótico usado en humanos muy antiguo. Se encontró en huesos en Nubia (350-550 d.C. al sur de Egipto), donde es posible que se deba al consumo crónico de cerveza fermentada. La penicilina se encontró recién en 1897 y el primer medicamento (Salvarsan) apareció en 1909 en Alemania y permitió tratar la sífilis. En solo un siglo, los antibióticos se convirtieron en una solución y un problema, por lo tanto debe estar contenido dentro de los programas de sustentabilidad de la sociedad. Tanto como el resto de los agregados químicos: fármacos, fertilizantes, plaguicidas.

Algunos se preguntan si estamos perdiendo la batalla contra las bacterias infecciosas. Son varias las causas por las cuales las bacterias son un peligro para la salud humana: la mutación y reproducción violenta de las cepas; la globalización de la actividad comercial que propaga las cepas inmunes por el planeta; el exceso de antibióticos usados aun cuando no es necesario; la interrupción en la toma de antibióticos sin cerrar el círculo; el uso de antibióticos en la industria alimenticia; la propagación de la resistencia entre bacterias.

En Alemania, en la mitad de 20 ensayos de carne de pollo realizadas al azar en supermercados se encontraron bacterias que podrían afectar a los humanos. El problema se atribuye a que los pollos son sometidos a tratamientos con antibióticos para mantenerlos en un espacio de hacinamiento. El uso excesivo y continuado de antibióticos en forma libre en la avicultura aumenta el engorde, pero acelera el desarrollo de resistencia por parte de las bacterias. Las dosis en las aves equivale a 20 años de tratamiento continuo con antibióticos en un humano. La proliferación de bacterias resistentes representa un peligro para las personas con un sistema inmunológico débil (ancianos, enfermos, niños y mujeres embarazadas). En casos extremos una infección puede ser mortal. En las zonas de crianza de aves en Alemania, se calculó que el 30% de las bacterias resistentes a la meticilina en humanos, provienen del entorno agrícola. Estas bacterias llegan a la cadena alimentaria en el agua de los pollos congelados y se encontraron en las salchichas.

En Estados Unidos, la propagación de bacterias resistentes a los antibióticos eleva el número de afectados a 2 millones y de muertes a 23.000 al año. En Maryland se estudió la resistencia de las bacterias *Enterococcus* a los antibióticos en granjas y criaderos. El resultado fue que en criaderos industriales el 67% de las bacterias eran resistentes a eritromicina y en las granjas ecológicas solo el 18%. Probando con otros fármacos la diferencia fue del 42% contra 10%, lo cual es grave ya que son bacterias que resisten muchos antibióticos en forma simultánea. En Carolina del Norte se detectaron bacterias resistentes en las vías respiratorias de los trabajadores de granjas de cerdos que usan antibióticos. La proporción fue el doble que en granjas sin antibióticos. La FDA (*Food and Drug Administration*) en 2013 solicitó reducir en forma voluntaria la administración de antibiótico, como parte de una campaña que esperaba tener más éxito que con prohibiciones. El mayor productor de aves de corral, Tyson Foods, se comprometió a eliminar los antibióticos de uso humano en 2017 en la producción avícola y a tomar medidas en la producción vacuna y de cerdos. Usarán antibióticos ionóforos que no se aplican a los humanos, por lo que no interesa que las bacterias se vuelvan resistentes a éstos. Tyson Foods se vio obligado a hacerlo debido a la decisión de McDonald de ofrecer alimentos libres de antibióticos. Otras grandes productoras declaran utilizar menos antibióticos que en 2010 y eliminarlos para fin de esta década. El desafío está en buscar alternativas para el control de enfermedades (probióticos o aceites de plantas). De todas formas, Tyson Foods señaló que no dejarán que los pollos sufran por lo que en ocasiones usaran antibióticos.

No queda claro porque una dosis baja de antibióticos hace crecer más a los animales, pero se asocia con el cambio microbiano en el intestino. Cerca del 70% de los antibióticos se usan en animales y los defensores del sistema señalan que los antibióticos usados en humanos y animales son distintos. En humanos el 44% es penicilina (6% en animales) y en animales el 41% es tetraciclina (4% en humanos). Para saber como se propaga la resistencia a los antibióticos se midió la carga bacteriana en distintas direcciones de viento en el entorno de los corrales de engorde en Texas. Se encontró que el viento lleva antibióticos y bacterias en los granos de polvo, lo que vuelve a la resistencia un problema regional y global.

Un caso interesante de resistencia biológica natural se encontró en un estudio con una tribu Yanomami al sur de Venezuela. El trabajo publicado en 2015 muestra que tienen el doble de variedad de bacterias en el sistema digestivo. Se debe a la ausencia completa de con-



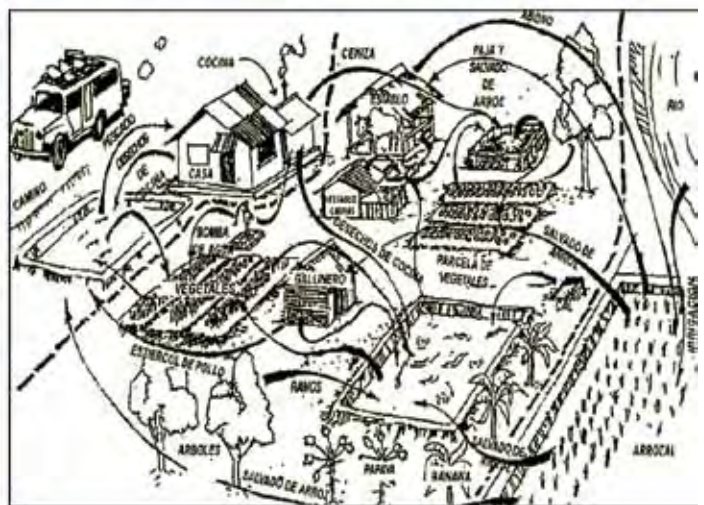
uso intensivo del espacio



muerte con insensibilización



avicultura (patos) y acuicultura



3222. Criaderos de pollos. La producción de animales más industrializada es la de pollos. Se destaca por la gran concentración de animales (arriba-izquierda), el aporte de luz y alimentación continua, el uso de antibióticos y el sacrificio mediante descarga eléctrica (derecha). En la producción familiar o de granjas pequeñas, se puede integrar a los patos y los pequeños estanques. Se caracteriza por el menor número de animales y la mezcla de razas de pollos, patos y gansos (abajo-izquierda). Este tipo de criadero permite el uso de charcas para el reciclado de heces (derecha). La producción industrial de aves está generando la resistencia a los antibióticos. El exceso y mal uso de los antibióticos se está convirtiendo en un grave problema. Las formas de resistencia de las bacterias son (abajo-izquierda): mutación del receptor en la bacteria; modificación del antibiótico gracias a la producción de una proteína específica; impermeabilidad de los poros que impide absorber el antibiótico; y expulsión del antibiótico. Una bacteria puede desarrollar resistencia en el circuito hospitalario o en la producción animal (derecha).

tacto con el medio de vida de nuestra cultura que incluye antibióticos, jabón, limpiadores, etc. De la comparación con otras tribus occidentalizadas a medias, se encontró que la tendencia es a la pérdida en la variedad de la biota interna. Por ejemplo, en Papua Nueva Guinea tienen un promedio de 224 especies contra 197 de un occidental. Otro aspecto encontrado es que las bacterias de los Yanomami tienen resistencia a los antibióticos y, ante la ausencia de contacto previo con nuestra civilización, se estima que se trata de una resistencia natural genética de las bacterias y que se reprograma cuando se la somete a antibióticos químicos de la ciencia moderna. De ser así, muestra que toda acción antibiótica será resistida por las bacterias.

Se necesitan nuevos antibióticos, pero se requieren hasta 20 años para un nuevo medicamento y los costos no pueden ser absorbidos por los laboratorios. Las empresas farmacéuticas dan prioridad

al desarrollo de medicinas para enfermedades crónicas (hipertensión o diabetes) porque son ingresos permanentes. Pero, si los pacientes no responden a los antibióticos, el tratamiento moderno del cáncer en muchos casos puede no ser posible. Se están probando nuevos antibióticos de una gran biblioteca de cientos de miles de compuestos químicos y se prueban contra diversas bacterias. Los antibióticos no tienen que matar a las bacterias en su totalidad. Si el sistema inmunológico está fuerte basta con debilitar a las bacterias para que el sistema inmune limpie el resto. Otra alternativa es usar combinaciones de antibióticos. Si un antibiótico perdió efecto podría volver a funcionar combinado con otros. África Occidental fue golpeada por el ébola, y sus sistemas de salud vulnerables se derrumbaron. La población teme al ébola en los hospitales y no asiste a ellos por lo que otras enfermedades se propagan. Liberia, muy afectada por el ébola, ha tenido brotes de sarampión y podría resurgir la tuberculosis.

La ganadería (iii): ¿sustentabilidad o abolición?

Hacia una ganadería sustentable. Mientras una parte de la población se vuelca a la alimentación vegetariana, otra parte aumenta la calidad de vida e ingresa en el consumo de alimentos cárnicos. Una ganadería sustentable debe revertir los lineamientos negativos de la cría de ganado. Los siguientes son alguno de ellos: (1) Cerca del 30% de los cereales que se producen se usa para la ganadería. Se debe cambiar este paradigma de competencia entre alimentación humana y ganadera (p.e., ganadería de pastizal en lugar de engorde a corral). (2) El ganado genera el 15% de gases GEI antropogénico, por lo que se debe aprovechar los desechos del ganado en la agricultura. Una vaca produce 8% de su peso al día en estiércol (20-30 kg) y puede fertilizar una hectárea de trigo durante un año. Una solución es la convivencia de ganado y agricultura en los mismos campos. Otra alternativa es la alimentación con plantas que generen menos metano en los rumiantes. (3) Reducir el uso de antibióticos. Se puede criar ganado regional que resista enfermedades y reducir el tratamiento médico, en lugar de importar razas de alta productividad (p.e., guanaco en la Patagonia). También, manteniendo los animales sanos mediante la higiene y la cría de baja densidad para reducir la propagación de enfermedades infecciosas. (4) Producir menos cantidad y más calidad para mejorar la alimentación humana. (5) Respetar los derechos de los animales manteniendo la dignidad y el confort a lo largo de la vida.

Buenas prácticas. En 1910 se introdujeron 26 renos en una isla en Alaska. Los alimentos eran abundantes y la población creció hasta 2.000 renos en 1935. El sobrepastoreo de la isla superó ampliamente la capacidad de carga y la población en 1950 era de 8 renos. Este es un ejemplo de falta de manejo con una especie introducida en un ambiente particular. La alimentación del ganado en pastizales requiere seguir algunas reglas para hacer al sistema sustentable.

(1) Fuego controlado. Las quemaduras de los campos tiene varios objetivos: remover pasto seco en forma superficial; si son en verano resultan incendios rápidos y poco profundos; generar rebrotes con mayor cantidad de nutrientes, proteína bruta y mejor palatabilidad (grado al paladar); aumentar la calidad y aprovechamiento temporal del forraje; reducir las plantas leñosas (arbustos) y cardos o abrojos indeseados;

favorecer la diversidad de hierbas y de nuevas especies con mejor valor forrajero (gramíneas rastreras y leguminosas); reponer nutrientes en el suelo; adicionar fósforo disponible en las cenizas (necesario para captar nitrógeno en leguminosas) y disminuir la carga de garrapatas al eliminar el pasto acumulado. Los problemas a controlar y evitar son: el fuego elimina la capa superficial y desnuda el terreno; esto aumenta la escorrentía y erosión; el ganado se concentra en las áreas con brotes nuevos y sobrecarga el suelo. Por eso se hace un manejo por parcelas y una rotación anual en el manejo del fuego (p.e., quema rotativa cada 8 años).

(2) Interrupción del pastoreo. La producción de pasto no acompaña al consumo durante todo el año. El sobrepastoreo produce la reducción de pastos en invierno y la invasión de plantas de hoja ancha (mala hierba), poco aprovechables por el ganado. Los herbívoros consumen selectivamente reduciendo las especies preferidas y provocan cambios en la dinámica del agua y sales. Al disminuir los pastos, el suelo se desnuda y la evaporación desertifica, entonces las sales del suelo profundo son llevadas a la superficie por capilaridad, lo que provoca salinización. El control del pastoreo pretende: recuperar el vigor de las plantas preferidas mediante descansos; minimizar la selectividad obligando a consumir las plantas menos preferidas con pastoreo intensivo cuando el animal no requiere alimento; favorecer la floración de especies que se quieren promover y que se reproducen por semilla; aumentar la germinación de especies anuales con pastoreos y descansos cíclicos; permitir el envejecimiento hasta la senescencia para aumentar la broza y cubrir el suelo desnudo; gestionar el agua en pastizales para mantener el transporte y purificación, la recarga de los acuíferos y el hábitat de la vida silvestre.

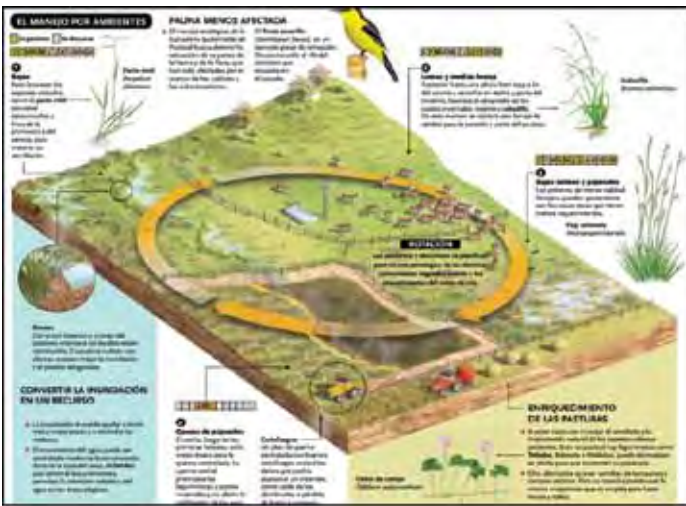
Una forma de tratamiento es el "mimetismo de la naturaleza". Significa emular el comportamiento de los animales salvajes que recorren grandes extensiones de tierra en manadas muy unidas y el pisoteo de las pezuñas rompe la superficie de la tierra por lo que puede absorber la lluvia como una esponja. En la ganadería se pueden usar cercos eléctricos con pequeñas divisiones y cambios frecuentes de espacios. Si el ganado se queda en el mismo espacio pastorean en exceso las

plantas preferidas, por lo que se aboga por la rotación en el momento óptimo en su crecimiento. El pastoreo excesivo no es por número de animales, sino por el tiempo que las plantas están expuestas al pastoreo y el tiempo de recuperación. Se argumenta que el pastoreo gestionado puede acelerar el proceso de mineralización del suelo, con el resultado de aumentar la capacidad de carga de la tierra.

(3) Manejo del agua superficial. Los pastizales inundables tienen varios beneficios ecosistémicos: reducen la erosión durante las lluvias e inundaciones; filtran los sedimentos y mejoran la calidad del agua; aumentan la retención del agua y la recarga de los acuíferos; desarrollan sistemas radiculares que previenen la erosión; alimentan el ganado y la vida silvestre. Por esto es necesario evitar la acumulación de sedimentos de la erosión, la pérdida de capacidad de almacenaje de agua y la desecación.

(4) Manejo de la pastura perenne. La agricultura desplazó a la ganadería hacia suelos marginales que no estaban preparados y por eso deben ser mejorados mediante la plantación, fertilización y manejo del pastoreo. Los campos bajos inundables por mal drenaje, tienen

mala calidad del suelo (salinos y alto pH) y las pasturas son de baja calidad para los bovinos (p.e., "pelo de chanco"). Lo correcto es el reemplazo por especies de mejor calidad forrajera (p.e., agropiro y festuca). Estas pasturas perennes (duran varios años) cubren el suelo, reducen la temperatura y disminuyen la transpiración. Las raíces son más profundas lo que mejora el suelo y tolera las sequías. El consumo de pasto debe ser prematuro para evitar la acumulación de biomasa y que se formen matas que el ganado no utiliza. Un problema de la "alimentación a campo" son las plantas tóxicas. Por ejemplo, el mío-mío o romerillo (*Baccharis coridifolia*) es un arbusto perenne de hasta un metro de altura. Se encuentra en el noreste NEA (Corrientes). Todas las partes de la planta son nocivas, pero las flores y semillas tienen mayor toxicidad. El consumo afecta a los bovinos, ovinos y cerdos que provienen de regiones donde no existe la planta. La sustancia tóxica es el tricoteceno producida por un hongos que viven en simbiosis con el mío-mío y que son absorbidas y transformadas por la planta. Se puede acostumbrar a los animales a evitar la ingesta, frotando sus encías y labios con plantas frescas para que aprendan a reconocerla. En la "alimentación a corral" este tipo de problemas se supone mejor controlado.



3231. Ganadería sustentable (i). Las buenas prácticas para la ganadería incluyen la conservación de pastizales naturales, el cuidado del suelo y agua y la rotación entre potreros. Un caso es la "ganadería de pastizal" con un plan de manejo de potreros rotativos (arriba-izquierda). El protocolo debe incluir la información sobre sanidad animal y bioseguridad, bienestar animal, buenas prácticas en medicamentos veterinarios, plan de saneamiento y protección durante el transporte el primer alimento de origen controlado de la Argentina fue el "Chivito Criollo" del norte de Neuquén (derecha). Es una producción trashumante que combina distintas localidades en cada estación del año. El uso sustentable de lana de guanaco en Patagonia permite la explotación de un recurso silvestre (abajo-izquierda). The Nature Conservancy tiene un proyecto que utiliza la crianza sustentable de ganado ovino de raza Merino para producción de vestimenta con marca Patagonia (derecha).

Ganadería certificada. A nivel internacional Freedom Foods es un programa de etiquetado de granjas y alimentos que aseguran las normas de las sociedades protectoras de animales. El nombre proviene de las libertades básicas de los animales: libre de hambre y sed; libres de incomodidad, dolor, heridas y enfermedades; libertad de expresar su comportamiento natural y libres de temor y angustias. Por ejemplo, prohíbe las jaulas para gallinas ponedoras de huevos. Pero, aunque prefiere la producción avícola a campo, permite la producción en granjas cerradas pero asegurando el bienestar animal en esos casos. De todas formas, la producción a campo tiene sus objeciones por la exposición a los extremos térmicos y a los predadores. Por eso se prefiere una vida semiprotegida donde los pollos pueden abandonar el encierro (*free-range*). Para el caso de los cerdos se aconseja un período de libertad hasta el destete y de encierro durante el engorde. El programa Freedom Foods incluye el etiquetado de productos derivados (cuero) que provienen de animales certificados.

En el caso de la Argentina se trabaja en el bioma pastizal que cubre el 25% de la superficie terrestre y se encuentra amenazado por el avance agropecuario (90% del pastizal está con sobrepastoreo). Los pastizales mantienen los suelos fértiles, regulan el ciclo del agua; tienden a una coexistencia de especies domésticas y silvestres. El proyecto Ganadería de Pastizal impulsa la ganadería sustentable en pastizales, integrando la conservación y la producción agropecuaria. Está gestionado por Aves Argentinas y Fundación Vida Silvestre Argentina (www.ganaderiadepastizal.org.ar) e incluye a zonas de Uruguay y Brasil. Se basa en la ganadería tradicional sumando prácticas específicas: baja capacidad de carga por hectárea; esquemas de rotación de ganado; manejo del agua y fuego; y una estrategia de mercado que valore económicamente estas prácticas de los productores.

El objetivo estratégico de la ganadería de pastizal es: "biodiversidad como sinónimo de carnes de calidad". La calidad reside en alimentar los animales a campo y a base de pasto y se debe valorar mediante precios diferenciales. Debe evaluarse la "carne de pastizal" como un producto nutritivo, sano y "amigo" de la biodiversidad del pastizal natural. Las pasturas gramíneas poseen un mayor valor nutricional (mayor contenido de Beta carotenos, ácidos linoleicos conjugados, ácidos grasos omega3) y un menor contenido de bacterias y colesterol. Además, si el forraje son pastizales nativos en lugar de pasturas exóticas, el impacto ambiental será mucho menor sobre las aves de pastizal y el resto de la fauna que es amenazada por la reducción del hábitat.

El caso: "guanaco salvaje". Bien manejadas, las especies nativas como el guanaco pueden ser una fuente de materia prima. Además, las ovejas competidoras del guanaco son animales exóticos en Sudamérica, mientras los camélidos son autóctonos y tienen una base cultural mayor. En los Andes más de un millón de pequeños productores tienen alpacas (*Vicugna pacos*) y llamas (*Lama glama*) como principal medio de subsistencia. Son camélidos domesticados de los que obtienen carne, leche, fibra, transporte y guano. Son un elemento de la identidad cultural y una explotación sustentable. Con 3,9 millones de llamas y 3,3 de alpacas, la producción total de lana es de 5.000 t/año. Cerca del 30% de la producción se usa en la comunidad. El 80% de la alpaca es de color blanco y el 12% tiene diámetros de fibra menores de 23 micrómetros. Las fibras de la llama son de menor calidad.

También hay dos especies de camélidos silvestres, el guanaco

(*Lama guanicoe*) y la vicuña (*Vicugna vicugna*). El guanaco tiene una población de 500.000 animales en la Patagonia y están bien adaptados a regiones áridas. En países vecinos (Bolivia, Paraguay y Perú) se declaró en peligro de extinción. Posee una de las fibras más finas del reino animal, muy apreciado por su impermeabilidad y suavidad. Es más fina que el cachemir (cabra de Cashemira-India) y la alpaca. El guanaco y la vicuña producen una fibra muy fina que oscilan entre 7-15 micrones (en la oveja merino es 17-18 micrones). En comparación, una oveja produce 5 kg/año de lana y un guanaco adulto 0,5 kg/año; pero el pelo del guanaco vale 80 us\$/kg y la lana de oveja vale 6 us\$/kg. Además, los guanacos viven entre 15-20 años, contra 5 de las ovejas, y tienen 3 veces más crías. Un abrigo de lana de guanaco puede costar 3.000 us\$ en los países ricos.

El guanaco está muy bien adaptado al suelo árido. La Patagonia se encuentra en un proceso de desertificación y las erupciones volcánicas hacen más difícil la cría de ovejas. El 70% de Santa Cruz ya es tierra desertificada. El guanaco tiene almohadillas en los dedos que impacta menos en el suelo y preserva mejor los pastizales que las ovejas con sus pezuñas. Son más eficientes con el alimento porque consumen menos y digieren mejor los pastos secos y reciclan mejor el nitrógeno. Cortan el pasto, en vez de arrancarlo como las ovejas, lo cual permite que se regenere más rápido. A cambio, es una especie salvaje (la oveja está domesticada) y no es fácil mantenerlo en cautiverio (proceso criticado por los conservacionistas).

Existe una alternativa que satisface a la producción y la conservación: la "captura en silvestría". Una vez al año los animales son arriados hacia una manga especial, donde se los esquila. En el 2002 en el criadero "El Chacay" (Los Menucos-Río Negro) se logró encerrar y esquilar unos 550 guanacos con 250 kg de lana obtenida. En medio del campo se construyó una gran manga con alambres simulando un embudo y una camilla de esquila. Los guanacos silvestres conviven con las ovejas, pero para los guanacos se requieren instalaciones especiales con alambrado de 10 hilos con 2 m de altura para evitar que se escapen. Los alambrados de 6 hilos para vacas son saltados con extrema facilidad y no constituyen límite alguno para el guanaco (y ciervos). Diez años después el sistema se seguía usando, pero solo cuando hay un aporte del estado debido a los costos de arreo.

Proyecto GRASS. The Nature Conservancy y Ovis-XXI sostiene un programa en la Patagonia para conservar los pastizales y a la vez producir lana Merino que es usada por la empresa Patagonia Inc. De esta forma se busca la sustentabilidad de las granjas y contener la desertificación. En 2015 unos 150 ranchos trabajaban con certificado Grass (Regeneración y Sustentabilidad de Pastizales), un sello que se centra en resultados y no prescribe un método específico de ganadería. Se basa en el manejo holístico de A. Savory. Para lograrlo cada rancho debe tener un plan de manejo que imita el pastoreo natural que contemple el efecto del pastoreo en la vida silvestre y la calidad del agua, con evaluaciones anuales y monitoreo externo sobre el terreno y auditorías por satélite. Este es un proyecto de cría en granjas, no se trata de generar reservas naturales, sin embargo en algunos casos se está logrando. Se busca una buena gestión de los pastizales mediante unos 15 indicadores biológicos que incluyen: la erosión del viento, la vitalidad de arbustos y especies claves, y el porcentaje de cobertura vegetal. Se relaciona con los procesos ecológicos y servicios ecosistémicos que brindan los pastizales, como la estabilización de suelos y la biodiversidad (fauna y flora, micro y macro, por encima y debajo del

suelo y en el agua). Cada indicador se compara con "zonas de referencia" que son sitios de cada uno de los 13 ecosistemas identificados en la Patagonia. La acreditación completa de Grass requiere una puntuación positiva de los 15 ítems (estado ecológico saludable). Se miden anualmente los indicadores y si mejoran es un indicador que el plan de manejo es correcto. Algunas granjas están empezando a funcionar mejor que las zonas de referencia, las que se encuentran en un simple "período de descanso". En 2015 la organización Peta de protección animal denunció abusos y mutilaciones sobre ovejas en un rancho certificado lo que motivó una fuerte repercusión del tema.

Carne de laboratorio. Si se desea disponer de fibras de carne animal sin la crianza, se puede recurrir a la producción en laboratorio. Se desarrollaron métodos para cultivar células madres de animales de granja y convertirlas en productos cárnicos comestibles. El procedimiento es el siguiente: (1) se aíslan células madres embrionarias o adultas (cerdo, vaca, gallina) mediante una biopsia; (2) se selecciona tejido muscular; (3) se induce la multiplicación en un caldo de cultivo derivado de bacterias; (4) las células embrionarias se convierten en fibras musculares (miocitos); (5) se le aplica tensión para hacerlas "ejercitar" (como un músculo normal) y para que se agrupen; (6) se realiza un procesado en láminas y (7) se fabrican productos cárnicos preparados, como carne picada o salchichas. En los reportes del 2015 producir hamburguesas llevaba 3 meses. Quienes hicieron un test dije-

ron que carece de grasa y de sangre, la textura es carnosa, delgada y sin sabor por lo que requiere de aromatizantes y colorantes. No se ha logrado el crecimiento de grasa animal, pero técnicamente no es imposible; también es posible producir cuernos de elefantes o rinocerontes. Incluso aletas de tiburón.

Esta técnica, imaginada en los años `30, se experimentó en la NASA para vuelos espaciales con carne de pescado. Luego pasó a la industria donde progresó lentamente y se espera disponer de productos para el 2030. Esta "carne" reduce 35-60% el consumo de energía y el 80-98% la emisión de gases GEI, aunque todo depende del origen del caldo de cultivo. Podrían existir objeciones morales a este tipo de alimento. Pero, no son alimentos modificados genéticamente y elimina el maltrato. Podría producirse carne de animales exóticos evitando la caza. Como un golpe publicitario se pensó en producir salchichas y exhibirlas junto al cerdo que dio origen a las células madres. Queda por determinar la forma en que se producirá el alimento para transformar proteínas vegetales en animales de este tipo y la sustentabilidad del modelo.

Otra línea de trabajo reciente es la producción de cuero en laboratorio. Eliminaría las objeciones de la caza de animales salvajes. La producción de cuero actual es sucio porque las curtiembres usan productos químicos tóxicos. Además hay mucho desperdicio para adoptar



3232. Ganadería sustentable (ii). Dos sellos que certifican la calidad del ganado son: Freedom Foods en Estados Unidos (arriba-izquierda) y Carne de Pastizal en la Argentina (derecha). La ganadería en campos de pastizal autóctono es una forma de preservar el ambiente y la biodiversidad de las aves en los pastizales. La producción de carne en laboratorio desde células madre (abajo-izquierda) permite obtener productos terminados (derecha) sin la intervención de un animal vivo.

la forma del producto final. Puede reproducirse el cuero a medida y casi de cualquier animal (vaca, cocodrilo, etc). Se calculó que se puede fabricar el cuero de una vaca en 1,5 meses contra 2 años de una vaca. Además puede fabricarse sin defectos ni cicatrices y del formato deseado.

Reducir o abolir. Existen diversos argumentos contra la alimentación en base a carne: para mejorar la salud o por la presencia de aditivos; por razones de cariño o derecho de los animales; por razones religiosas; para evitar la competencia por los productos agrarios (el 80% del maíz y soja y el 95% de avena se utilizan para engorde de animales) o por razones ambientales (la huella de carbono e hídrica del ganado son las más altas). Para generar conciencia, se señala que la soja que se produce en la zona de desmonte del Amazonas termina como carne en los mercados de Europa. En el 2009, Lord Stern dijo: "la única vía para salvar el mundo es que todo el planeta se haga vegetariano".

En 1842 aparece por primera vez el término vegetariano, que se refiere a "dieta vegetal". Aunque es muy anterior, ya que los seguidores de Pitágoras tenían una dieta vegetal. En la India los textos del Hinduismo condenan el sacrificio de animales y el consumo de carne y el 40% de su población es vegetariana. En 1944, se acuñó la palabra "vegano" que proviene de vegetariano, siendo una ética caracterizada por el rechazo a la explotación de otros seres sensibles. En su origen indicaba no consumir productos lácteos. Para evitar la explotación y la crueldad hacia los animales, el veganismo se traduce en diversas prácticas: no se alimentan con productos como los lácteos, huevos, carnes y tampoco consumen miel; rechazan los tejidos y materiales de origen animal (lanas, cueros, pieles, sedas); rechazan los espectáculos en los que se los usan; no participan de la compra-venta y evitan productos donde hay experimentación con animales.

Una dieta sin carnes ayuda a prevenir enfermedades del corazón y cáncer de varios tipos, lo cual fue demostrado de diferentes estudios desde 1980. Si una dieta vegetariana (como cualquier otra dieta) se

lleva de manera inadecuada, puede causar anemia y carencia de minerales y proteínas. De manera adecuada, se deben tomar variedades de frutas, verduras, legumbres y cereales. Para producir leche para veganos se aislaron los genes que producen las proteínas de la leche (caseína) y luego se añadieron a bacterias de levadura. A la leche de bacterias se le agrega lactosa, agua y aceite vegetal y se obtiene una leche factible incluso de fabricar quesos. Con el mismo método se puede fabricar leche humana. Aunque el queso se fabrica con leche producida por un OMG, técnicamente la leche no es transgénica y puede ser consumida por veganos ya que no la producen animales. En cambio, la carne de laboratorio, o el cuero, proviene de células animales, de forma que no podría servir para veganos. De todas formas, quesos o carnes deben probar que son aptas para consumo humano.

La investigación para reemplazar productos de origen animal llegó también a los huevos. Una empresa investigó 1.500 plantas para hacer una combinación que reemplace a los huevos de gallinas. Luego de 2 años, en el 2014, los huevos de vegetales (para mayonesa o huevos revueltos) tenían un costo 20% más barato, pero se estimó que podrían llegar al 60% de ahorro.

Un argumento de la filosofía vegana indica que deben elegirse los productos alimenticios que causen menor daño al menor número de animales posible ("principio del menor daño"). Una refutación a este argumento es la "hamburguesa vegetariana". Indica que los productos vegetales pueden causar más daños a la vida silvestre que una vaca alimentada en pastizales naturales. Los que sostienen este argumento calcularon que la agricultura mata 10 animales por hectárea al año (durante la cosecha o por pérdida de hábitat) y que aplicando el Principio del Menor Daño debería pasarse a una dieta de ganadería de pastizal. Dicen que se requiere una producción de carne más eficiente, de mejor calidad y no, menos producción. Argumentan que el ganado que se alimenta en pastizales produce abono que mejora el suelo y convive con la vida silvestre en forma pacífica. El contraargumento menciona la calidad de vida del ganado vacuno, incluyendo el stress por transporte y la forma de sacrificio.

La pesca (i): la desertificación de los mares

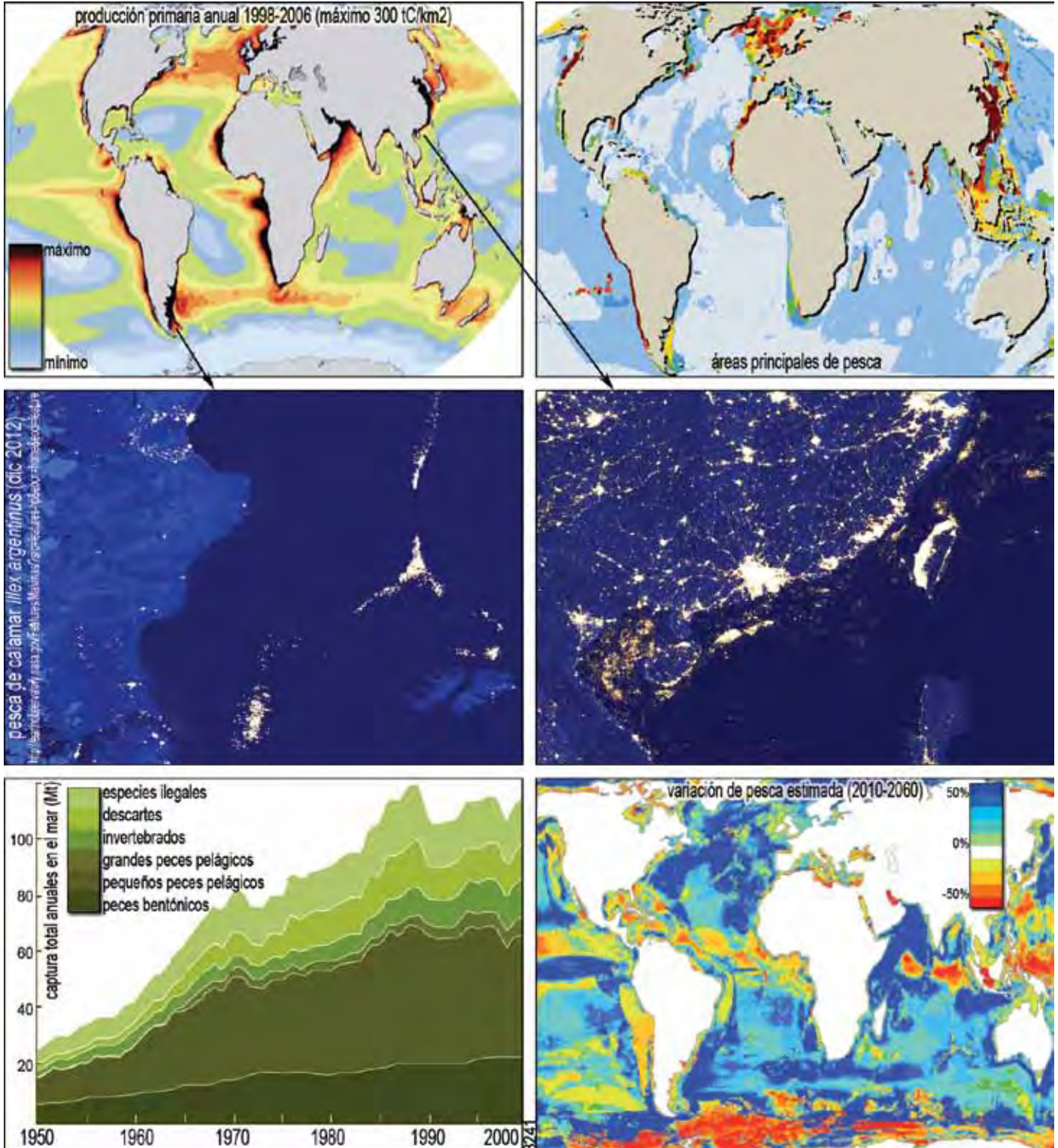
Los tipos de pesca. La pesca fue una de las primeras actividades económicas y la FAO estima en 38 millones el número de pescadores. Se puede clasificar de diferentes formas: (1) puede ser pesca deportiva, de subsistencia, comercial (baja escala) o industrial; (2) se puede realizar en agua salada o dulce; (3) puede ser con sedal (anzuelo en palangre) o red (red pasiva fija en un lugar y red activa); (4) puede ser de superficie, bentónica (a dos aguas) o de fondo; (5) puede ser selectiva o no-selectiva (by-catch); (6) otra variante es la producción de peces y mariscos y la recolección (acuicultura). La WWF valió la productividad de los océanos en 24 billones de dólares (10¹²) anuales. La valuación es con el método de "capital natural" y corresponde a la séptima economía mundial.

(1) La pesca deportiva. La pesca o caza deportiva son muy similares. La caza mayor (mamíferos) es duramente combatida por los conservacionistas y los gobiernos, aunque la pesca sobre grandes peces

está más tolerada. Con aves las discusiones son más abiertas. En algunas aves, como las palomas, se tolera la caza como un medio de control de plagas. En algunas ciudades se usan halcones para alejar las palomas de las zonas conflictivas. Un argumento que se esgrime para la caza y pesca es que los animales no sienten dolor. Los estudios detallados encontraron que peces e invertebrados marinos (cangrejos, langostinos, pulpos, etc) tienen receptores del dolor y la conducta responde a estos estímulos. En los lugares protegidos se ponen límites máximos a la caza y extracción por caña y se fijan temporadas de veda para permitir la reproducción. Para evitar la muerte del animal se propone la caza fotográfica y la pesca con devolución. Sin embargo, aun con devolución se produce stress. Por eso, en Alemania, atendiendo al sufrimiento animal, se prohibió la pesca con devolución. Estos argumentos pueden llevar muy pronto a fijar formas de sacrificio en la acuicultura que contemplen la reducción del dolor como en las aves de corral.

(2) La pesca comercial. El problema ético involucra también a la pesca comercial, ya que atrapar peces en las redes resulta en el stress del animal. La pesca comercial se realiza para obtener el sustento en poblaciones costeras o isleñas. Se puede incorporar una fase artesanal en pequeños botes o barcos con implementos simples, muchos fabricados por los propios pescadores. La pesca de subsistencia involucra a aquellas comunidades que viven del alimento logrado en

las aguas costeras (lagos, ríos o mares). Los datos disponibles pueden ser poco confiables. Por ejemplo, el análisis de las trampas de peces en las costas del golfo Pérsico mediante las imágenes satelitales del Google Earth, permitió verificar que la captura es cercana a 31.000 toneladas al año en lugar de 5.200 t/año como reportaban los gobiernos a la FAO. El tipo de pesca comercial más simple es la pesca costanera. Usa pequeños barcos que se alejan poco de la costa y cada



3241. La pesca. Las áreas de producción natural de biomasa en los océanos se acumulan en ciertas zonas del planeta (arriba-izquierda). Existe una correspondencia con las zonas de pesca extractiva (derecha). Las fotografías satelitales nocturnas permiten observar las concentraciones más importantes de buques pesqueros (centro). En particular en el Mar Argentino se encuentran en el límite de la zona soberana y se dedican a capturar calamar. La pesca total (abajo-izquierda) se encuentra estancada en las últimas décadas y la estimación a futuro (derecha) muestra las zonas con actividad creciente y en declive.

día vuelven al puerto para descargar y evitar los riesgos de la noche en el mar.

(3) La pesca industrial. Requiere barcos muy bien equipados; conocimientos de sistemas de pesca; tecnología de localización y captura; industrializar y conservar el producto a bordo; una infraestructura portuaria donde desembarcar y distribuir. Por lo tanto, es una pesca intensiva en capital. Según el lugar donde se practica se puede distinguir la pesca costanera, la pesca de altura y la flota de mar. En la pesca de altura y en las flotas se aplica una tecnología sofisticada. Son barcos factorías, donde se manipula y transforma en productos congelados. Disponen de varios barcos grandes y bien equipados que se encuentran en alta mar por semanas o meses. Estos barcos llevan radares para detectar los bancos de peces y sonares para medir la importancia de los bancos detectados. Tienen instalaciones frigoríficas para conservar el pescado. Algunos países tienen flotas de barcos que pescan en aguas muy lejanas y que disponen de barcos de abastecimiento. Diariamente, salen a pescar embarcaciones menores, que vuelven al barco de abastecimiento para descargar. El pescado se clasifica y se procesa mediante salado, congelado o conserva.

Las flotas pesqueras llegaron a ser 2,5 veces más grandes de lo sustentable y en muchos casos es peor la forma de trabajar que el tamaño de la flota. La pesca industrial utiliza cerca de 500.000 trabajadores, mientras que la pesca artesanal llega a 12 millones de personas. La pesca industrial captura 29 Mt/año y la artesanal 24 Mt/año. El costo por trabajador es 10 veces superior en la industrial. La pesca industrial consume 14-19 Mt de combustible contra 1-3 Mt de la artesanal.

El caso: "lago Aral e isla Migingo". La pesca en lagos está en crisis profunda. El Mar Aral (Ásia) era un lago interior de los más grandes del planeta y hoy ocupa el 10% de la superficie original. En los años '60, la URSS desvió las aguas de ríos afluentes para la irrigación de campos. En aquella época la planificación soviética había decidido abandonar al lago a cambio de la agricultura. El objetivo era producir algodón y lo consiguió, hoy día Uzbekistán es un importante exportador de algodón. La reducción del aporte de agua y la contaminación por fertilizantes terminó con el lago y la industria pesquera. Hoy, los residuos del fondo vuelan con el viento esparciendo los tóxicos. Las aguas que quedan tienen altísima salinidad (2,4 veces mayor al océano). Una isla del lago fue usada por la URSS para experimentar con armas biológicas. Las instalaciones se abandonaron en 1992 y fueron luego limpiadas, aunque se sospecha que es el origen del carbunco (ántrax) que se usó para el ataque terrorista en Estados Unidos en el 2001.

La isla Migingo está en medio del lago Victoria (África). Es la segunda reserva de agua dulce del planeta. Se encuentra en el límite entre Kenia y Uganda y bajo disputa. Es un paraíso para la pesca de la perca del Nilo; un pez introducido en 1960 que terminó con la fauna local (varios cientos de especies de cíclidos que se diversificaron hace 12.000 años). La perca está incluida en la lista de las 100 especies invasoras más peligrosas del mundo por la IUCN. En 1977 la pesca de percas representaba el 1% de la biomasa y en 1983 era el 68%. Unos 30 años más tarde, los problemas sobre este lago se multiplican. El nivel del lago se reduce, de forma que Migingo pasó de ser una roca a una pequeña isla de 500 metros de lado y habitada por una sobrepoblación de pescadores. La sobrepesca está reduciendo el número de percas que se exportan a Europa y las factorías están casi paraliza-

das. Los pescadores de Kenia dicen que las percas se reproducen en sus aguas y se sienten con derecho a pescarlas en aguas de Uganda por ser kenianas de nacimiento. Los humedales costeros donde se reproducen (desovan) las percas están disminuyendo. En el exterior del lago, la deforestación redujo las lluvias y con esto el nivel del lago. La agricultura que reemplazó a los bosques vierte fertilizantes y los pueblos sus residuos, por lo que las aguas están eutrofizadas, sin oxígeno suficiente y con algas que impiden la penetración de los rayos del sol.

Especies en peligro. Los datos estimados indican que casi un tercio de los peces capturados son usados para alimentar el ganado. Alguien dijo que "los cerdos y pollos son los principales predadores marinos". El pez globo de China (*Takifugu chinensis*) se consume en sashimi. Es de los más venenosos y solo preparado por expertos. El consumo humano ha hecho que se redujera en 99,99% en los últimos 40 años. Hoy está en la lista roja en peligro crítico. El atún rojo del Pacífico (*Thunus orientales*) se consume en sushi. Redujo su población en 19-33% en los últimos 22 años y está en la lista de especies amenazadas.

Un ejemplo interesante es la sobrepesca de grandes tiburones en el Pacífico Norte que son la capa superior de los predadores. Esto permitió el incremento de los predadores intermedios (rayas y otros tiburones menores) y redujo las ostras y vieiras que están un escalón abajo en la cadena alimentaria. Es un ejemplo de efecto invertido, donde afectando a la cúspide de la pirámide termina impactando en la base. Algunos tiburones se pescan solo por la aleta (3-5% del peso total del animal) y el resto se tira al mar. La aleta se usa para farmacos tradicionales y sopa china. La caza anual se estima entre 26 y 73 millones de tiburones y el riesgo se da porque tienen pocas crías, crecen lento y maduran tarde.

Según un informe de la FAO (2005) un cuarto de las poblaciones mundiales de peces están sobreexplotadas, en declive o en recuperación por agotamiento. La mitad están al límite máximo, y solo un cuarto están moderadamente explotadas y podrían producir más. Así que, la pesca sustentable está muy lejana. La pesca aun no llegó a aguas abiertas entre 200 y 1.000 m de profundidad. En esa franja es posible que se encuentre el 95% de la biomasa de peces. El resultado surge de un estudio publicado en el 2014 y que resume un análisis de 64.000 km de barrido con ecosonda entre trópicos. Se encontró que el vertebrado más numeroso en el mundo es el género *Cyclothone* que incluye los peces luminosos que se acercan a la superficie para alimentarse y vuelven a la oscuridad abisal. ¿Será el próximo coto de pesca?

Deforestación marina. Un tipo de pesca muy agresivo con el ambiente marino es la pesca de arrastre (retropesca). El barco hala de una malla que va recogiendo todo lo que se encuentra a su paso (pesca no selectiva). Puede trabajar a nivel pelágico o en el fondo. Hace siglos los pesqueros de arrastre eran considerados como los "vagos" de la comunidad pesquera, debido a que requería un mínimo esfuerzo.

Las redes de arrastre más grandes (pueden atrapar un Boeing 747) destruyen arrecifes de coral de varios siglos. La boca de la red se mantiene abierta y pegada al suelo mediante pesadas "puertas". Una relinga con plomos rueda por el fondo y otra con flotadores empuja hacia arriba, lo que permite la abertura de la boca de la red. Los grandes barcos miden 140 m de largo y puede arrasar una franja de 2.000 m² en una pasada; pudiendo barrer 1.500 km² al día.

un planeta

Cuando se arrastra la red en el suelo marino es comparable con la deforestación, ya que tiene el mismo impacto ecológico. Los suelos quedan casi infértiles y además remueve el suelo y libera carbono acumulado afectando el balance de CO₂ en la hidrosfera. La pesca de arrastre afecta más superficie que la deforestación y levanta una nube de fango que se desliza por los taludes produciendo avalanchas que

modifica el relieve original (es como arar en una pendiente de montaña). Para colmo, el tiempo de recuperación del hábitat marino es 10 veces más lento que en la selva.

Otro problema asociado es la falta de selectividad (by-catch) que produce capturas de especies no deseadas (algunas protegidas) y ju-



3242. Formas de pesca en el océano. Las diferentes formas de pesca en los océanos (centro) incluye la pesca de arrastre, red y palangre. Las redes de deriva pelágica o de calado en el fondo son una trampa para los mamíferos marinos (arriba-izquierda); en tanto que las líneas de palangre de superficie pueden atrapar a las aves que comen peces en la superficie (derecha). La pesca de arrastre es de enorme impacto ambiental. La fotografía (abajo-izquierda) pertenece al norte del Golfo de México en octubre 1999. En investigaciones que comparan áreas vecinas afectadas e intactas (nordeste de España) se encontró que se redujo el 50% de la biodiversidad, el 52% de la materia orgánica y se ralentizó el ciclo del carbono en el 37% (menor absorción de CO₂ por la vida marina).

veniles con poco valor comercial y que reduce la próxima generación. Son 40 Mt/año que se desperdician por el by-catch. Se calculó que en el Mar del Norte se destruyen 16 kg de animales marinos por cada kilogramo comercializable de lenguado que se captura. La secuencia de sobreexplotación de recursos marinos es desde la costa hacia las aguas profundas. Existen estudios sobre disrupciones en el fondo marino generadas por el equipo de pesca con efectos negativos sobre ecosistemas y la cadena trófica. Esto desestabiliza el equilibrio entre especies y genera problemas para el mantenimiento del ecosistema.

Redes o palangres. Las redes de deriva son cortinas “invisibles” que flotan desde la superficie y se mueven a la deriva impulsadas por las corrientes marinas o el viento. Capturan todo lo que se cruza ya que resultan imperceptibles para los mamíferos marinos (tortugas, focas, ballenas, delfines), tiburones y aves marinas. También pueden ser usadas en el fondo en forma fija con boyas de superficie. El caso del palangre es similar, ya que consiste en una línea (aparejo) de varios kilómetros de longitud a la que se fijan miles de anzuelos. Desde el aparejo cuelgan brazoladas con hilo plástico en cuyo extremo penden los anzuelos. Las medidas varían según las capturas buscadas. Puede colgar de la superficie a la deriva (pelágico) o estar en reposo en el fondo marino. Este método es bastante selectivo pero también atrapan aves marinas cuando cazan a los peces en el anzuelo. Además estropea las presas y las devoluciones al mar son de animales muertos ya que ocurre varios días después de la captura.

En los '90 ocurrió la “guerra del bonito”. Fue el enfrentamiento de flotas pesqueras española, francesa e inglesa por el uso de redes de deriva ilegales. Las redes mayores a 2,5 km son ilegales, pero se usaban de más de 10 km de longitud. La denuncia fue realizada por las flotas españolas gallegas y vascas que tenían un método diario de selección (más sustentable). En el 2013 se conoció un estudio de 12 años

que contabilizó 23.000 tortugas verdes capturadas con palangres. Cerca del 80% son liberadas pero llevan las marcas de la luchas con el anzuelo. A nivel global y en el período 1990-2008, se estimó en millones la cantidad de tortugas de todas las especies marinas capturadas por barcos pesqueros. Las recomendaciones son establecer zonas vedadas a la pesca de palangre y vedas en la temporada de reproducción.

Argentina: merluza y calamar. El pescado no es uno de los hábitos alimentarios de los argentinos: se consume 5 kg/año/hab, diez veces menos que las carnes rojas. La actividad pesquera se concentra en el océano Atlántico y los puertos más importantes son Mar del Plata, Quequén, Bahía Blanca, Rawson y Puerto Madryn. La pesca fluvial y lacustre (dorados en el Paraná, pejerrey en las lagunas o truchas en ríos patagónicos) es de escasa cuantía. El Mar Argentino tiene fuerte actividad reproductiva sobre la plataforma continental debido a la mezcla de corrientes cálidas y frías. La producción pesquera argentina superó los 1,1 Mt en 1998 (sin contar barcos extranjeros). El 70% son peces y el resto mariscos. La mayor parte son barcos dedicados a la merluza.

Uno de los problemas principales es la falta de estudios sobre el potencial pesquero que permitan establecer los volúmenes de capturas sustentable. Es altamente nociva la pesca realizada en el límite de la zona económica exclusiva (milla 201), particularmente para las especies transzonales o migratorias, como merluzas y calamares. La pesca del calamar se realiza mediante la iluminación del mar nocturno que se aprecia en las fotografías satelitales. Según un informe del INEDEC (Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero) entre 1986 y 1998, la cantidad de merluzas disminuyó un 43% y el tamaño perdió 2-5 cm de talla. La Fundación Vida Silvestre Argentina calcula que en los últimos 20 años se perdió el 80%, ya que se pesca el 30% más de lo recomendado (0,2 Mt/año). Además la pesca de especímenes inferiores a 35 cm reduce la población antes de reproducirse.

La pesca (ii): protección, sustentabilidad y acuicultura

Áreas protegidas. Una herramienta para la conservación de ecosistemas marinos son las MPA (*Marine Protected Areas*). Funcionan en forma similar a los parques nacionales impidiendo ciertas actividades humanas. Hacia el 2010 existían 5.800 MPA abarcando el 1,17% de los océanos. Existen categorías internas: reserva natural estricta, parque nacional marino, monumento natural, patrimonio de la humanidad, etc. Las restricciones incluyen la pesca, minería, petróleo, tránsito de buques y turismo.

Un estudio publicado en el 2014 sobre 124 MPA de todo el mundo indica una recuperación importante en biomasa (promedio global de +446%), densidad de individuos (+166%), tamaño de los peces (+28%) y diversidad (+21%). Los estudios son útiles porque permiten predecir los resultados que se obtendrán en nuevas áreas. Se observó el “efecto derrame” que consiste en el aumento de peces en las áreas lindantes no protegidas. También, el “efecto cascada trófica” donde se produce un aumento de predadores que limita la cantidad de herbívoros y un aumento de los vegetales. El “efecto de deriva larval” se observa cuando se siembran huevos en el MPA y la eclosión ocurre fuera del área.

Un MPA de Nueva Zelanda de 1.170 km² (desde 1988) permitió la

recuperación de uno de los delfines más raros del mundo. El seguimiento se realizó mediante fotografías e identificando a cada delfín (462) por las heridas de guerra (pesca de enmalle y arrastre). El crecimiento de la población fue del 5,4%, lo cual prueba que las MPA son eficientes también para mamíferos. En Bangladesh se creó en el 2014 un MPA exclusiva para esta función. Además, el 35% de las tortugas verdes se alimentan dentro de las MPA, aunque viajan miles de kilómetros en migraciones desde la zona de cría a la de alimentación. Siendo que las MPA ocupan solo el 1,17% de los océanos, la distribución de las tortugas no es al azar. Si este valor se pudiera llevar al 4%, en 8 áreas precisas de los océanos (una de ellas el Mar Argentino), se podría proteger el 84% de las 129 especies de mamíferos marinos.

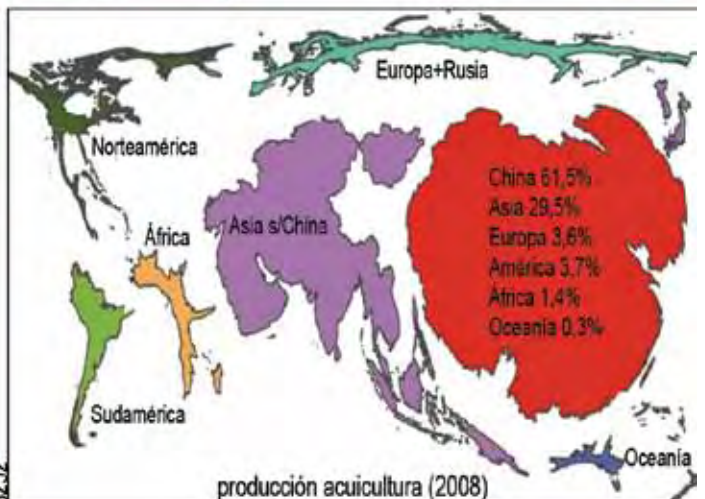
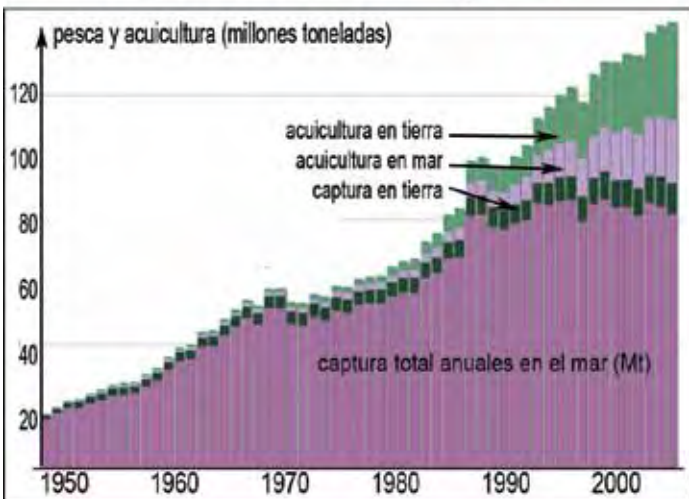
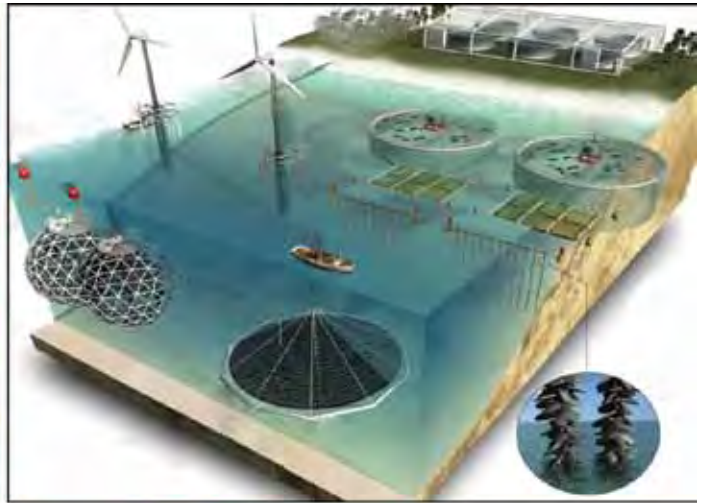
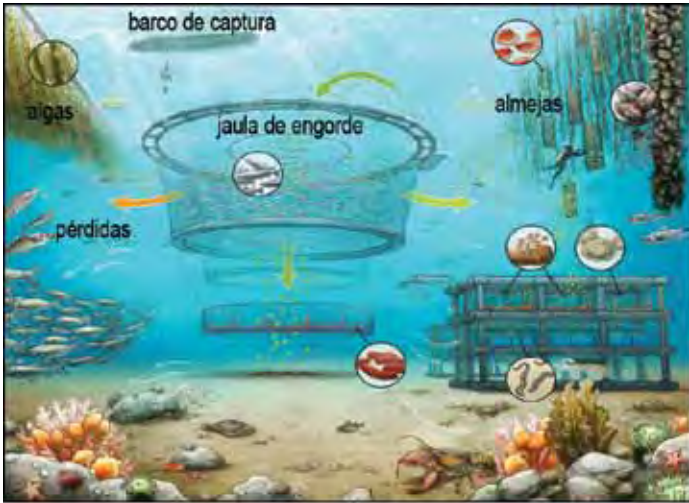
En la Argentina (2013) se generó la primer MPA en una región enteramente marina al sur de Malvinas. En esa zona existe una meseta sumergida a poca profundidad (Banco Burdwood) y la MPA se denominó Namuncurá. Es una isla submarina de 28.000 km² con profundidad de 50-200 m, pero rodeada de aguas profundas de hasta 3.000 m. Es una zona aislada y de alta productividad, donde la pesca de arrastre o la explotación petrolera podría afectar a una fauna sensible.



3251. Formas de protección de la vida marina. Las áreas protegidas MPA permitieron el incremento de la vida marina. Por ejemplo, la biomasa aumentó el 446% en las MPA a nivel global. En la costa del Mar Argentino se identifican 45 zonas consideradas de importancia para la conservación de los mamíferos marinos (arriba-izquierda). Las Islas Malvinas tienen 17 MPA, Chile tiene 5 áreas donde 2 ellas están dedicadas a proteger recursos bentónicos. En Uruguay hay 8 MPA. Un MPA que es totalmente marina es Namuncurá (derecha) al sur de las Islas Malvinas. Se trata de una "isla" plana y sumergida a 50-200 m de profundidad y que se desea preservar de la pesca de arrastre y explotación de petróleo. Otra forma de protección es el control de la sobrepesca. El proyecto Global Fishing Watch (centro) realiza el seguimiento satelital de barcos pesqueros (110.000 buques al 2015) para detectar la pesca ilegal. Solo se muestra la localización en aguas abiertas (izquierda) donde los recursos son de toda la humanidad. Se observa la diferencia entre áreas protegidas por Estados Unidos y Kiribati (centro) y se puede realizar el seguimiento del recorrido por varios días (derecha). Una forma de protección diferente es mediante la certificación de las compañías pesqueras (abajo). Por ejemplo, las certificaciones de peces capturados MSC y Friend of the Sea (derecha) ayuda a reducir la presión por sobrepesca y darle un carácter sustentable a la pesca en mar abierto.

Pesquería certificada. La creciente preocupación por la pesca llevó a mecanismos de certificación, etiquetado y guías para el consumidor. Algunos organismos son: MSC, Fair Trade y Seafood Watch. En 1997 la WWF y Unilever crearon MSC (*Marine Stewardship Council*). El objetivo

es identificar, mediante un sello azul, a empresas pesqueras que no sobreexplotan el mar, perjudican lo menos posible el entorno marino y realizan una gestión responsable y eficaz (aprovechamiento sustentable). La evaluación la hace un grupo de expertos independiente de la MSC en un



3252. La acuicultura. La producción industrial de peces en cautiverio (acuicultura) es una forma tangencial de protección a la vida silvestre. Existen distintos implementos para la producción dependiente del tipo de producto específico (arriba). Los "campos" de cultivos de algas en China producen alimentos en aguas cercanas a las escorrentías desde el continente (centro-izquierda). Las crías de vieiras se alimentan del excremento de una piscifactoría en Canadá (centro). La eutrofización de las aguas se debe al exceso de nutrientes que se usan en piscicultura en una laguna interior en Filipinas (derecha). La acuicultura no ha logrado por el momento ser sustentable, sin embargo, reduce en parte la presión de pesca en aguas abiertas. La captura de pescado anual en los últimos 60 años muestra el incremento de la acuicultura frente a la pesca (abajo-izquierda). Los países de Asia son los mayores productores mediante acuicultura (derecha). Mientras la captura en el mar se mantiene constante o desciende, la producción por acuicultura se incrementa.

proceso público y participativo. Para el 2013, unas 200 empresas en el mundo habían certificado y capturaban más de 3 Mt de pescado y mariscos al año. Más del 30% de las especies codiciadas de "pescado blanco" (rodaballo, bacalao, merluza o salmón marino) cuentan con el certificado del MSC y algunas de estas especies están amenazadas.

En forma similar a FSC para la madera, una de las críticas es que los criterios del ecoetiquetado MSC son débiles, ya que permiten el uso de las redes de arrastre. Los críticos preguntan si es responsable certificar a productores que transportan bacalao del Pacífico (Alaska) y merluzas hoki (Nueva Zelanda), hasta Europa. Otro punto es la forma de transporte: "los peces deben nadar (transporte marítimo en contenedores), no volar (transporte aéreo congelado)". En Estados Unidos se examinaron las licencias del MSC y descubrieron carencias en muchas empresas. Por ejemplo, una pesquería en Canadá capturó en forma "selectiva" 20.000 pez espada, pero con una captura "incidental" de 100.000 tiburones y 1.700 tortugas laúd en peligro crítico; esto está muy lejos de una captura sustentable. También, se objeta que solo las grandes pesquerías pueden afrontar el proceso de certificación. Pese a esto, el sello azul garantiza un estándar mínimo de sustentabilidad superior a los productos de origen no comprobable.

Otra organización que trabaja en igual sentido es *Friend of the Sea*. Se encarga de certificar pesquerías y la acuicultura. Los criterios usados son: se evita la sobreexplotación; no se destruye el hábitat; no hay captura incidental de especies en peligro de extinción y se reduce la huella de carbono. Para la acuicultura agregan el procesamiento de aguas residuales; un porcentaje muy bajo de fugas; no uso de organismos transgénicos, ni de hormonas de crecimiento y antibióticos.

La Acuicultura. La producción de peces en jaulas es muy antigua. Existen referencias de cultivo de lisa (*Mugil cephalus*) y carpa (*Cyprinus carpio*) desde hace 5.000 años en China. Hace 3.400 años ya existían leyes de protección frente a los ladrones de pescado. Aristóteles y Plinio el Viejo escribieron sobre el cultivo de ostras. Plinio atribuye al general romano Lucinius Murena el invento del estanque de cultivo. Pero Séneca criticó esta invención hablando de "esos recintos diseñados para proteger la glotonería del riesgo de enfrentarse a las tormentas". En la Edad Media, en monasterios y abadías se aprovecharon estanques alimentados por cauces fluviales para el engorde de carpas y truchas. En 1842 se lograron alevines de trucha por inseminación artificial en estanques y llevó a la Academia de Ciencias de París a la creación del Instituto de Huninge, el primer centro de investigación en acuicultura.

La explotación industrial es mucho más cercana en el tiempo. En 1980 el 9% del pescado global era de acuicultura y en el 2006 la cantidad de pescado para el consumo humano se igualó, entre pesca y acuicultura. En el 2012 la producción de acuicultura superó (medido en kg) a la carne vacuna (punto de cruce en 63 Mt). La tendencia de la producción industrial de pescado y mariscos se duplicó en la primera década de este siglo. La producción de ganado vacuno y pesca está estancada por falta de espacio y sobreexplotación. Pero, ¿es la acuicultura la solución para disponer de pescado en forma sustentable?

La acuicultura, como la agricultura, tiene grados de intensidad y tecnificación. La acuicultura extensiva son cultivos de baja intensidad y tecnología, donde aprovechan condiciones naturales favorables. Por ejemplo, los organismos filtradores marinos (ostras, almejas y mejillones) que se cultivan en fondos arenosos de áreas intermareales, o en

estructuras apoyadas en el fondo (mesas de cultivo), o flotantes (bateas y líneas). En ellos se procede a la siembra, se alimentan y engordan. Los sistemas extensivos son usados para fito-zooplankton en climas cálidos con buena radiación solar. Se utilizan balsas de agua enriquecidas con nutrientes minerales para producir microalgas (*Chlorella* o *Spirulina*) que son destinadas a alimentación humana, cosmética o herbodietética. Otras, *Daphnia* o *Artemia*, se usan de alimento para zooplankton que a su vez se usan en la alimentación larvaria de peces y crustáceos.

Los cultivos de peces en jaulas flotantes (mares o lagos), son sistemas semi-intensivos. El agua utilizada proviene del medio directo, sin bombeo, pero se aportan alimentos y se realiza un mínimo de control del cultivo. También lo son los cultivos en estanques y canales en circuito abierto o semiabierto, aprovechando aguas corrientes (truchas en arroyos andinos). Los cultivos intensivos se realizan en instalaciones separadas del medio natural, en tanques o piscinas aisladas con sistemas técnicos de captación y recirculación de agua, y con un control total del medio y de los individuos. Requiere más inversión, pero el aumento de rendimiento o control de producción es determinante. La acuicultura permite mantener en el mercado peces, crustáceos y moluscos, lo que disminuye la presión pesquera silvestre y evita la desaparición de algunas. ¿Puede ser sustentable la acuicultura? Hay muchos factores que limitan la sostenibilidad.

En la Argentina, la acuicultura se expandió en el NEA. Tiene unos mil productores y 1.200 ha sembradas de alevinos de pacú, carpas, dorados, surubí, talapia, sábalo, boga y salmón de río. La densidad es de 3.500-4.000 peces/ha y se obtienen 700 toneladas al año. El consumo en la Argentina es de 7,9 kg/hab/año en contraste con el promedio global de 14,3 kg/hab/año.

(1) Baja biodiversidad. Solo se crían algunas especies ya que el sistema es inviable para algunas donde los costos superan los beneficios. No todas las especies con alto valor de mercado se consiguieron cultivar en cautividad. En algunos casos solo se hace la fase de engorde. Cuando es posible, se mantienen algunos individuos reproductores que aportan huevos fértiles, los alevinos se crían y engordan hasta su talla comercial. Sin embargo, las granjas de atunes no logran domesticar a los reproductores, por lo que necesitan del aporte continuo de larvas o inmaduros procedentes del mar, impidiendo que estos individuos lleguen a ser reproductores en estado salvaje. En Japón se logró domesticar una especie de atún y se venden los alevinos para engorde.

Otro problema es la productividad de los individuos de criadero. En el río Hood de Oregon se encontró que las truchas arco iris de criadero tienen baja variabilidad y cuando se escapan se reproducen menos. Los individuos de criadero son seleccionados para la reproducción por características distintas al mundo hostil y depredador de la vida silvestre. Dos padres de criadero producen solo el 35% de lo producido por dos padres salvajes y con un padre de criadero y otro salvaje producen el 87%. Un problema es que reducen la productividad de la población silvestre.

(2) Baja eficiencia. La acuicultura requiere piensos de harina de pescado con biomasa animal y ácidos grasos poli-insaturados (omega3), lo que obliga a seguir pescando. Un kilo de salmón de cultivo requiere unos 6 kg de pescado, que es extraído del mar. Así, se transforma pescado en pescado, con un pobre rendimiento del 15%. Un tercio de la pesca mundial (90% de los pequeños peces) se dedica a la fabricación de harina para elaborar piensos para peces, ganado, o lo

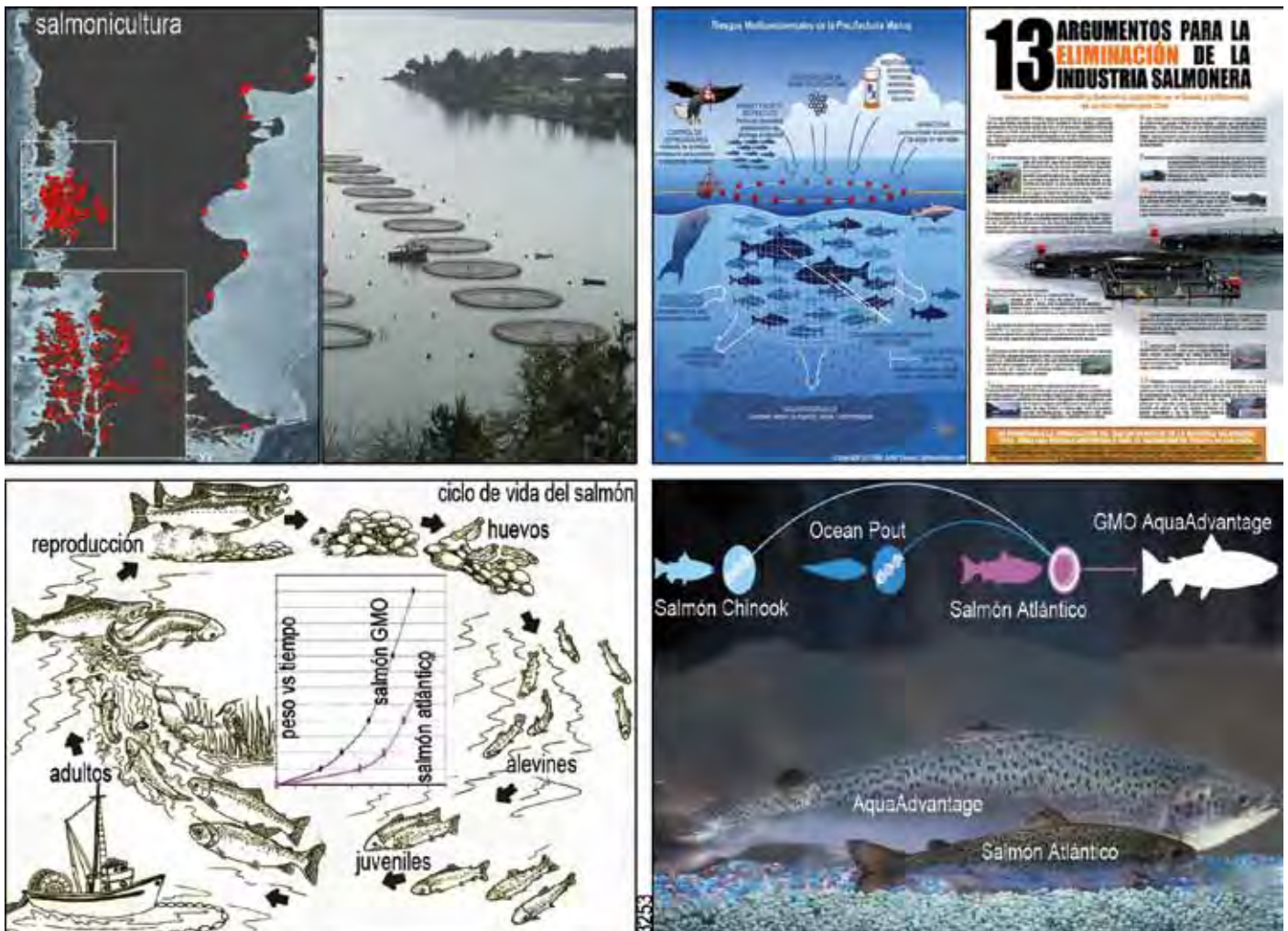
que es más grave, para utilizarlos como abono. La demanda de harina de pescado ejerce mucha presión sobre las poblaciones marinas.

En el 2014 se publicó el resultado de estudios que garantizan el uso de vegetales (dieta balanceada de maíz, soja y algas) para alimentar a peces carnívoros. Los peces requieren nutrientes específicos y no alimentos específicos. Son cerca de 40 nutrientes entre aminoácidos, ácidos grasos, vitaminas y minerales. Por el momento, el alimento balanceado es más caro que la harina de pescado, en parte por la competencia con los biocombustibles. Pero, el producto final se podría vender a mayor precio atendiendo al aporte ambiental. Entre las especies que pueden ser alimentadas en forma vegetariana se encuentran la trucha arco iris y el salmón atlántico.

(3) Salud animal. Los animales de acuicultura tienen una dieta poco natural, a la cual se le adicionan antibióticos, muchos de los cuales terminan fuera del sistema. Como aporte nutritivo para los humanos un salmón silvestre tiene más proteínas que aceites omega3 y omega6, lo contrario de los salmones de granja. Además, un salmón de granja tiene 10 veces más contaminantes (dioxinas y PCB) que los silvestres. El debilitamiento de la salud del animal de granja es el resultado de la masificación y confinamiento. Las enfermedades se propagan por contacto, canibalismo o por el agua. La mezcla de peces y la comercialización de

alevines y huevos pueden ayudar a la propagación de una enfermedad entre granjas. Se observan enfermedades no-infecciosas (defectos genéticos); carencias nutricionales; enfermedades relacionadas a los parámetros físico-químicos del agua; stress producido por las altas densidades en las jaulas y tanques. Un medio de contagio es el agua donde se liberan efluentes orgánicos; patógenos de peces; sustancias tóxicas involuntaria e individuos de cultivo. Los peces, al escapar de sus jaulas, pueden transmitir sus enfermedades a las especies nativas. Además, el 85% del fósforo, 80% del carbono y 52% del nitrógeno introducido en las jaulas pasa al ambiente por las excreciones y respiración.

(4) Seguridad alimentaria. Un problema es lo que se quita al ambiente y otro es lo que se tira. En una granja pequeña de ganado el estiércol se puede usar de abono, pero la producción intensiva transformó un activo (el estiércol) en un pasivo (contaminación). En Estados Unidos el 80% de los antibióticos se usan para el ganado y no por razones de salud, sino para el engorde. En la acuicultura el uso de baños de formol y antibióticos tienen efectos sobre el ecosistema y los propios peces. Los baños de formol se utilizan para la eliminación y prevención de parásitos y bacterias de la superficie externa de los peces. Su uso es legal y extendido a pesar del impacto ambiental de una sustancia tan tóxica. El uso de antibióticos provocó la aparición de patógenos resistentes. Los antibióticos pueden acumularse en los órganos inter-



3253. La salmonicultura. La cría de salmones está muy extendida en Chile donde se usan lagos y ríos andinos para la producción industrial (arriba-izquierda). En la Argentina las factorías son menores. Las infografías (derecha) corresponden a quienes se oponen a la acuicultura industrial. El ciclo de vida del salmón (abajo-izquierda) se replica en cautiverio y es una de las principales industrias de peces en cautividad. El salmón transgénico AquaAdvantage crece a un ritmo del doble que el salmón silvestre en un período de 2 años hasta llegar a ser adultos (derecha).

nos y hacer al pez inapropiado para el consumo humano. Además está el peligro de generar cepas resistentes en la flora intestinal humana.

El caso: "salmonicultura". En Noruega, en 1971 se seleccionaron los mejores ejemplares de 40 ríos y se dio origen a la salmonicultura. Para el 2007, la cantidad de crías que escapaban de las granjas igualaba a la población de salmónes salvajes (450.000 individuos). Desde 1970 la población silvestre disminuyó en el 80% y el 10% de los ríos noruegos perdieron todos los salmónes salvajes. ¿Las causas?: represas para energía hidroeléctrica, lluvia ácida, piojo de mar y parásitos. El principal río salmónero tiene una población donde el 35% son escapados de las granjas. Otro problema es la propagación de enfermedades. En 1999 en Noruega se detectó la enfermedad HSMI en la salmonicultura. Esta enfermedad es causada por un virus e inflama los músculos y el corazón en el salmón produciendo un 20% de muertes. Para el 2010 eran 417 granjas que estaban contaminadas en Noruega e Inglaterra. Los investigadores estudiaron salmónes salvajes de ríos en Noruega y encontraron que 16 de 66 muestras estaban contaminadas.

Recorriendo un camino inverso, sobre el río White Salmon (Washington, Estados Unidos), se demolió la represa Condit en el 2011. La empresa consideró que los costos de mantenimiento ambiental (reducción de caudal y construcción de la rampa para peces) era excesivo y decidió eliminarla. Un siglo después que se construyera (1913), el río vuelve a ser transitable para el salmón. A corto plazo la eliminación de la represa modificó y afectó a los humedales debido a la corriente de agua que barrió el lecho, pero a largo plazo se recupera todo el ecosistema anterior. El fondo del embalse estaba saturado de sedimentos que se desplazaron hacia el extremo del río aumentando el volumen del delta.

En la acuicultura del salmón en Chile se usaron antibióticos cada vez más potentes, que llegan hasta el consumo humano y a los peces fuera de las jaulas. En salmónes de cultivo se midieron niveles de contaminantes superiores a los salmónes salvajes. Los peores indicadores corresponden a compuestos organoclorados (dioxinas) provenientes de la alimentación. Se midió que el consumo de más de 600 gramos de salmón del Mar del Norte podría ser nocivo para la salud. Pero, como la acuicultura reduce el tiempo de crecimiento (no gastan tiempo en buscar alimento), las concentraciones de mercurio acumulado son menores que en los silvestres.

En las jaulas de salmón en Chile (sur de Chiloé) la densidad de individuos llega a 40 kg de salmón por metro cúbico de agua, cuando en Noruega el máximo es 5 kg/m³. Como en tantos otros casos, el desarrollo de la salmonicultura en Chile es elogiado por organismos económicos internacionales y criticado por los conservacionistas. Se produce salmón del Atlántico, que es exótico para la región, por valor de 2.000 US\$/año. Muchas granjas están en parques nacionales y, aunque son legales, producen un impacto sobre la fauna silvestre. En Chile se midió una reducción del 60% de biodiversidad en los ecosistemas cercanos a las jaulas de salmónes. Se observan daños sobre lobos marinos que quedan atrapados en las redes que rodean las granjas de salmonicultura. También las ballenas y delfines están siendo apartados de las zonas de fiordos por el ruido que generan las embarcaciones de alimentación. Además, el virus ISA, que produce anemia infecciosa, obligó a cerrar muchas granjas y se desconoce el efecto sobre la fauna nativa chilena.

Acuicultura sustentable. En Filipinas, cerca del 60% de los manglares (1.000 km²) se eliminaron para la producción de camarón. La acuicultura será una alternativa que reemplace la pesca cuando

consiga ser sustentable desde el punto de vista ambiental y evite las pérdidas en los ecosistemas.

Una posibilidad es el etiquetado de "pescado orgánico". La GAA (*Global Aquaculture Alliance*) desde 1997, y la ASC (*Aquaculture Stewardship Council*) desde el 2010 son organizaciones con un plan de ecoetiquetado. Se trata de reconocer el compromiso y la participación de la industria en la acuicultura responsable. El certificado ASC (similar a MSC para capturas en el medio silvestre y FSC para certificación de madera) busca hacer sustentable la acuicultura preservando el ambiente y biodiversidad. Se hacen necesarios piensos donde se minimice el uso de harinas y aceites de pescado. Debería preferirse la cría de especies herbívoras u omnívoras, y la disminución de especies carnívoras. Es posible la disminución del stress con mejoras de las condiciones de cultivo de los animales enclaustrados. Se requieren alternativas al uso de antibióticos, manteniendo la sanidad animal y humana. Se pueden emplear inmunostimulantes naturales, como extractos de hongos, algas y endotoxinas bacterianas. También, es posible usar probióticos (alimentos con la adición de microorganismos vivos), mejorando la dieta o estimulando la respuesta inmune.

Peces transgénicos. Los peces GMO buscan un desarrollo rápido y de mayor masa. En la trucha arco iris se produjo una variedad que genera dos capas de músculos para aumentar el peso. Se logra inhibiendo la miostatina, una proteína que retrasa el crecimiento muscular. Esto logra un 15-20% más de músculo. Para el salmón se desarrolló una variedad GMO que sintetiza hormonas de crecimiento de otras especies, de forma que crecen 2 veces más rápido. Es el caso del salmón AquaAdvantage son dos modificaciones genéticas. Una introduce un gen de otra especie de salmón que produce una hormona de crecimiento y otra lleva un interruptor genético que habilita la producción de la hormona todo el año. En los salmónes naturales la hormona está reprimida en el invierno.

¿Problemas? Muchas objeciones son similares a todos los GMO. En parte se desconocen los efectos a largo plazo del consumo de organismos transgénicos. Los productores aseguran que llevan 23 años de estudios en Estados Unidos, desde el inicio del proyecto del salmón. Se sabe que tienen menos proteínas (-5%), más grasa (+58%) y más componentes cancerígenos (+40%). Se objetó que el excesivo índice de crecimiento provocó malformaciones en los peces. También se estima (mediante modelos de computadora) que si compitieran con las especies naturales podrían desplazarlas y extinguirlas en 40 generaciones. Aunque sean cultivados en acuicultura, los escapes son muy frecuentes y podrían pasar a la vida natural con facilidad. La empresa indica que los huevos que producen son una variedad estéril (todas hembras), pero pueden existir excepciones (hasta el 5%). Aun estériles, si las hembras se cruzaran con especies naturales podrían interrumpir la cadena de reproducción. Además, competirían por el espacio y el alimento con especies silvestres. La empresa argumenta que criados en aguas cálidas, sería muy difícil que sobrevivan los peces que escapan. Sin embargo, con la exportación de huevos a terceros países, el control de la producción se perdería y el riesgo renace.

De todas formas, los peces transgénicos no son una solución a la producción ya que solo se desarrollan más rápido, pero siguen necesitando el aporte de proteínas de pescado. Siendo que la cadena de acuicultura no logró aun el estado de sostenibilidad, parece peligroso el paso a producir peces transgénicos solo porque es más rápido.

El agua (i): disponibilidad y consumo en agricultura

La pérdida de acuíferos. El agua subterránea se acumula por percolación natural desde la superficie a través del suelo y las rocas. Se concentra en cavidades y capas de roca porosa, grava, arena o arcilla. Los niveles del agua subterránea responden lentamente a los cambios de clima y puede llevar largo tiempo la reposición del consumo. Por ejemplo, el mayor acuífero de Estados Unidos es Ogallala (ubicado en la Gran Planicie Central) y alimenta la producción agrícola. Si se encontrara en la superficie cubriría los Estados Unidos con medio metro de agua. Es un acuífero producto de la última glaciación y se consume 20 veces más rápido que la lenta reposición por lluvias, debido a que es gratuito y tiene un bajo costo de energía para extraerlo. En la Argentina, Brasil y Paraguay se encuentra el acuífero Guarany, que consiste en una capa de arena profunda que se formó entre 200-130 Ma atrás, cuando esta región era un desierto como el actual Sahara. Se rellena con agua proveniente de las lluvias en Brasil y tiene vertientes río abajo. Se lo explota en forma moderada aunque con un consumo mayor a la reposición. En Córdoba, la laguna de Mar Chiquita es un afloramiento sur del acuífero. En Entre Ríos se perforan pozos para extraer aguas termales con temperaturas de 33-65 °C.

Los satélites Grace (NASA) detectan los cambios gravitatorios de cada sector de la Tierra, entre otras causas por la pérdida de aguas subterráneas lo que permite hacer una evaluación del estado de los acuíferos. Los efectos de la sobreexplotación de los acuíferos son varios: la pérdida de agua potable a futuro; la posibilidad de terremotos al cambiar la tensión en las fallas subterráneas y el aumento del nivel del mar. Por ejemplo, el río Indo en Pakistán y su acuífero subterráneo alimenta al 90% de los cultivos. Como resultado la región productiva se desarrolló con rapidez. El problema es que el Indo transporta 22 Mt de sal por año desde las montañas y solo descarga la mitad en el Mar Árabe. El resto queda en el suelo y son casi 100 gramos/m² de sal al año que se acumulan en el terreno irrigado. Esto resulta en un 50% de suelo en proceso de pérdida grave. En la vecina India, se extraen 250 km³/año de agua del acuífero y solo se reponen 150 km³/año, por lo que los pozos para riego son cada vez más profundos. La Revolución Verde en la India se debe al agua subterránea en una cuarta parte y la extracción deprime el terreno con picos de 33 cm/año. Las consecuencias para 114 millones de habitantes de la región pueden incluir un colapso de la producción agrícola y la escasez del agua potable. Una consecuencia inesperada ocurrió en julio de 2012, cuando cerca del 50% de la población de la India (10% de la mundial) perdió temporalmente la energía eléctrica por un fallo masivo. Algunos expertos culparon a la grave sequía, las pérdidas de reservas en las represas hidroeléctricas y al uso de energía eléctrica para alimentar las bombas de agua para el riego en la agricultura.

Un caso diferente ocurrió en Siria entre 2006-2011, donde se registró una fuerte sequía. Los satélites registraron una pérdida en el almacenamiento de agua en las cuencas de los ríos Tigris y Éufrates. Fue la segunda tasa de pérdida luego de la India. Muchos factores (políticos, sociales y religiosos) contribuyeron al conflicto militar en Siria, pero la disminución en la disponibilidad de agua, la mala gestión del agua con fracasos agrícolas, y el deterioro económico siguiente contribuyó a dislocaciones de población y la migración de las comunidades rurales

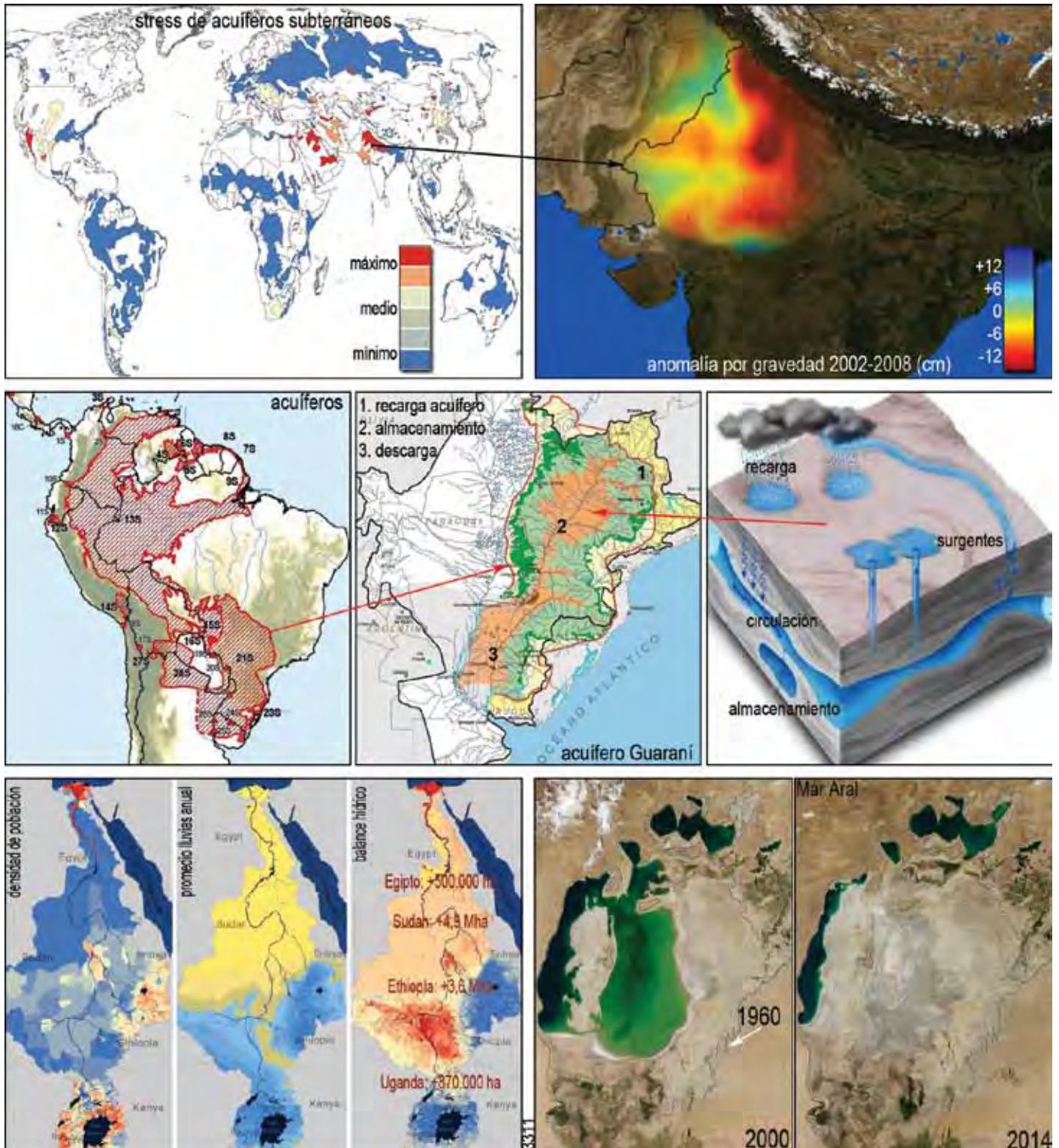
para ciudades cercanas. Esto contribuyó al desempleo urbano, problemas económicos, la inseguridad alimentaria y la posterior agitación social. Otro caso extremo ocurrió en Arabia Saudita, donde no hay ríos y solo existe agua subterránea fósil. Este acuífero tiene un período de relleno de 33.000 años, se lo uso para agricultura y ganadería por 30 años y se consumió el 60% del agua fósil. En el 2005, Arabia Saudita logró la independencia alimentaria, pero colapsó y dejó de producir años después. Luego del fracaso, invierten en países vecinos donde compraron 1 Mha.

La pérdida de ríos. Otro problema es la sobreexplotación de los ríos que es resultado de la agricultura, la fragmentación debido a represas hidroeléctricas y el dragado para el transporte fluvial. Por ejemplo, el crecimiento de China elevará el consumo de agua de 52.000 Mm³ en el 2005 a 270.000 Mm³ en el 2030, lo cual llevará la situación hídrica a un estado muy grave. El río Amarillo está en fatiga hídrica creciente. En 1972 por primera vez se secó por 15 días antes de llegar al mar. En 1997 durante 226 días no llegó al mar debido al uso y una sequía pertinaz. En algunos años ni siquiera llega a la provincia de Shandong que es responsable del 20% de la producción de maíz y trigo. A la falta de agua se suma que se duplicaron las aguas residuales sin tratamiento que se vuelcan al cauce. El Amarillo está intervenido por el hombre desde hace milenios. El sitio Anshang incluye restos de un dique con zanjas de riego de la dinastía Zhou (1046-256 aC). En ese lugar la tasa de depósitos se incrementó al doble con la actividad humana. El sitio Sanyangzhuang fue enterrado bajo 5 metros de sedimentos en el período 14-17 dC y los edificios quedaron preservados. Albergaba a 10 millones de personas en el área inundada. La acumulación de sedimentos debido a los diques obligaba a construir otros más altos, convirtiendo al Amarillo en un río antinatural.

Otro es el caso del río Yangtze (China) donde el delta sobrevivió al aumento de 50 mm anuales desde el siglo VII. Pero, desde 1950, se construyeron represas que cortaron el suministro de sedimentos y aceleraron la erosión. El Yangtze recibe el 40% de los residuos de China (25 Gt al año) desde la agricultura, industria y ciudades. Se considera el río más turbio del planeta y abastece a 320 millones de personas. Pero además se construyó la mayor represa del planeta, llamada Tres Gargantas (8,2 GW de potencia). Los argumentos usados para la construcción de la represa fueron contener los desbordes e inundaciones que producían miles de víctimas anuales y el abastecimiento energético. Los costos ambientales fueron: la inundación de 13 ciudades, 140 pueblos y 1.200 aldeas; entre 1,4 y 2 millones de evacuados; 1.300 sitios culturales perdidos; 2.500 especies vegetales y 330 de peces amenazadas por pérdida del ecosistema y 22 especies animales que ya estaban en la lista roja en peligro de extinción. No es posible saber aún el efecto en los sedimentos que eran el abono para los campos agrícolas durante las inundaciones. Los depósitos se acumularán en la represa y el río perderá la autodepuración. El Gobierno Chino admitió que las consecuencias en lo referente a desechos tóxicos no fueron tomadas en cuenta en la evaluación de impacto ambiental previo. Existe una advertencia sobre perturbaciones sísmicas, deslizamientos y flujos de lodo, causados por el enorme peso del depósito de agua. El lago puede servir como una cuenca gigante que arruina la calidad del agua,

debido a la falta de tratamiento de las aguas residuales. La basura era tan gruesa en el 2010 que podría ser pisada (60 cm de profundidad) y amenazaba con obstruir las compuertas de la represa.

El caso: "el río Nilo". Más de 90.000 nubios tuvieron que ser reubicados para formar el lago Nasser (Egipto). La represa interrumpió las inundaciones anuales del río Nilo, por lo que los sedimentos y limo



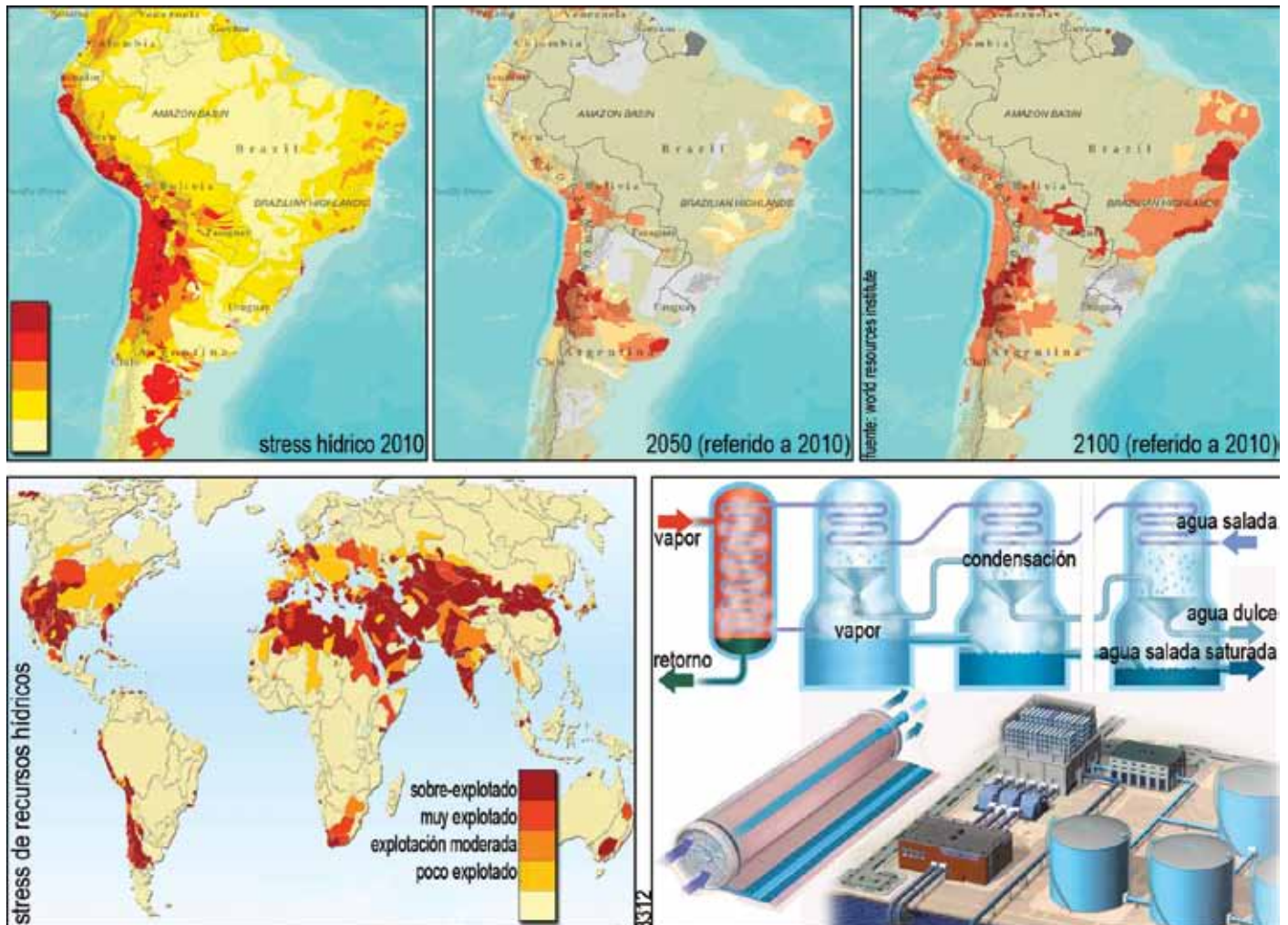
3311. Stress hídrico. Los principales acuíferos subterráneos en el planeta (arriba-izquierda) tienen diferentes condiciones de explotación. Los más complicados se encuentran en Medio Oriente, India y California. La región del Indo es una de las más perjudicadas del planeta (derecha) y se observa como depresión del suelo debido a la pérdida de agua subterránea. El acuífero Guarany (centro) es una gran reserva de agua dulce que no está sobreexplotada. Se llena al norte en Brasil por las lluvias y se descarga al sur. Mar Chiquita en Córdoba se encuentra en el extremo del acuífero y su reducción de superficie se debe a los regímenes de lluvia. También existe una sobreexplotación de ríos y lagos. El río Nilo (abajo-izquierda) se encuentra exhausto por la actividad agraria de forma que las lluvias no llegan a compensar las pérdidas. Existen cerca de 10 Mha explotadas en exceso que entregan un balance hídrico muy negativo y es fuente de conflictos. El Mar Aral se ha perdido casi en su totalidad por el uso de los afluentes en la explotación agraria (derecha). En este caso, fue una decisión del Estado (Unión Soviética) que favoreció el agro frente a la conservación del lago.

que antes nutrían el Valle del Nilo, se desplazaron hasta una red muy densa de canales de riego y humedales en la desembocadura (Delta del Nilo). La falta de abono natural en el Valle produjo el aumento de la erosión y el uso de fertilizantes químicos que causan contaminación por escorrentía. Por su parte, el lago Nasser experimentó un aumento en la vida vegetal que alimenta a los caracoles que producen la enfermedad esquistosomiasis. Además, experimenta elevadas tasas de evaporación debido al clima muy seco y cálido que llega al 20-30% del aporte de agua desde el Nilo. La provisión de agua para un Egipto más poblado será un problema de difícil solución.

Egipto y Sudan producen todos sus alimentos mediante riego desde el Nilo. Los problemas que enfrentan son la degradación y salinización de los suelos, el mal drenaje y la contaminación. Como resultado de las intervenciones en el cauce el agua del Nilo no llega a desembarcar en el Mediterráneo y el agua salada retrocede por el delta dañando la producción agrícola. La cuenca del Nilo ya estaba dañada cuando se proyectó el riego de 10 Mha adicionales en lo que va de este siglo en los 4 países de la cuenca. Un problema es que las nuevas áreas de explotación extraen el agua que utilizan los pueblos indígenas, gene-

rando conflictos que llegan a las armas. Se dice que "lo valioso no es la tierra, sino el agua". Otro problema es la estacionalidad del aporte de agua. El 80% del agua del Nilo proviene de Etiopía por lluvias entre junio y agosto. Mientras las poblaciones indígenas utilizan el agua en forma estacional, las explotaciones agrícolas nuevas se planean para abastecer de agua todo el año mediante represas y canales. Se agrava por el uso de cultivos con alto consumo de agua (caña de azúcar y arroz). Las estimaciones indican que el Nilo tiene un potencial de riego de 17 Mha y que se explotarán 27 Mha, lo que da un déficit de 10 Mha.

En tanto, Etiopía construye una represa en el afluente Nilo Azul, lo que reducirá los suministros a Egipto y Sudán. Los 3 gobiernos negociaron una forma para compartir el agua, reduciendo las pérdidas por evaporación del lago Nasser. El almacenamiento en la represa de Etiopía producirá menos evaporación porque es más profundo, tiene menor superficie y se asienta en tierras altas, frías y húmedas. Como se reducirá la generación de electricidad en Egipto, Etiopía tendrá que compartir la electricidad de la nueva represa. Sudán (a medio camino entre Etiopía y Egipto) podría beneficiarse por un flujo de agua más uniforme, lo que reduce el riesgo de inundaciones y el aumento de las posibilidades de riego.



3312. El stress y la producción de agua dulce. Si el consumo de agua es superior a las reservas disponibles se produce un stress hídrico. En Sudamérica las zonas más afectadas son la Patagonia y los Andes Centrales (arriba-izquierda). A futuro se espera que la región central de la Argentina sea la más afectada (derecha). Toda América jugará un rol clave en la "seguridad alimentaria" del planeta, porque tiene un tercio del agua dulce y una cuarta parte de las tierras agrícolas. Es la región con mayor exportación neta de huella hídrica. A nivel global (abajo-izquierda) el resto del planeta está mucho más afectado que Sudamérica. Una solución es la desalinización de agua salada de mar (derecha). Requiere mucha energía para generar vapor que separa el agua de la sal. El cloruro sódico es el 86% de los sólidos disueltos en el agua de mar. Pero el valor difiere entre océanos: 33,3 gramos/litro en el Pacífico; 40,6 g/l en el Mediterráneo y 48 g/l en el Golfo Pérsico. Para que sea potable, el agua dulce debe tener cerca de 0,5 g/l (menos es insulsa y más de 1 g/l es desagradable).

Argentina: poca agua y mal distribuida. Entre el 16 y 21% de los argentinos no tienen agua potable, con extremo en la provincia de Misiones (28%). En las villas de emergencia y en áreas rurales el problema es mayor. En la ciudad de Buenos Aires el consumo llega a 560 litros por día y en el resto del país es 180 litros/día. Este es el resultado de los subsidios a los servicios públicos y la falta de conciencia pública. La responsabilidad del estado es manifiesta.

El agua es fuente de conflictos entre provincias. Mendoza y La Pampa mantienen litigios por el agua del río Atuel y Santa Fe y Santiago del Estero por el río Salado. La Pampa reclama mantener un flujo mínimo en el río Atuel de 5 m³ por segundo. Cuando se inauguró en 1947 el embalse Los Nihules (San Rafael), las aguas dejaron de llegar a las localidades pampeanas con un perjuicio que La Pampa estima en 100 millones de pesos anuales. Una de las causas, según La Pampa, es el deficiente sistema de riego sin impermeabilización. Mendoza se encuentra en emergencia hídrica y se espera que el calentamiento global la agrave. Mendoza ofreció el aporte de agua desde el río Grande y el gobierno nacional una represa en Portezuelo del Viento, pero La Pampa lo rechaza. Toda esta historia está en manos de la Corte Suprema de Justicia.

Por otro lado, la pampa húmeda fue en el 2012 el cuarto exportador de agua virtual, luego de Brasil, Australia y Estados Unidos. Por ejemplo, exporta casi 46.000 Mm³ (millones de metros cúbicos) de agua en granos, pero importa solo 3.100 Mm³ en otros productos. Una caja de manzanas del Alto Valle del río Negro requiere 8.000 litros de agua para 20 kg de manzanas, que en su totalidad proviene del riego mediante acequias desde el río Negro que se origina en los Andes. La producción agrícola-ganadera es la principal consumidora de agua de lluvia en la Argentina. En las planicies de médanos al este de la provincia de La Pampa, se calculó un costo hídrico entre 10.000 y 40.000 litros de agua por cada kilogramo de carne vacuna, dependiendo de la forma de producción. La Argentina cultiva en secano (terrenos alimentados por precipitaciones sin riego) por lo que el agua virtual no resulta

en una sobreexplotación del agua azul (las reservas en acuíferos). El agua que no se usa en la producción de secano se evapora o escurre hasta los ríos que desaguan en el mar. Por esto es que se requiere retener el agua en el suelo reduciendo las pendientes de escurrimiento e impidiendo que se apelmace el terreno.

Desalinización del agua. En el 2015 eran 700 millones los habitantes con carencia de agua y serán 1.800 en el 2025. Algunos países (Israel) dependen de la desalinización del agua de mar porque las fuentes renovables no son suficientes. Después del ahorro y reciclado del agua, la alternativa es la desalinización mediante la ósmosis inversa. El agua de mar se bombea hasta reservas con arena y carbón para un primer filtrado. Desde allí se lleva hasta tubos de fibra de vidrio que contienen una membrana semipermeable. El agua dulce atraviesa la membrana quedando la sal retenida del otro lado. Existe un costo ambiental implícito al absorber agua de mar con vida en su interior y además requiere mucha energía para el bombeo y generar presión sobre la membrana. Se utiliza en promedio 1 kWh por cada m³ de agua desalinizada, energía que debería provenir de fuentes renovables. Hay 16.000 plantas con este sistema en todo el mundo que abastecen a unos 100 millones de personas.

¿Cuál es el valor monetario del agua? El agua compite entre las aplicaciones agrícolas y las ciudades. Un sistema de desalinización con ósmosis inversa tiene un costo promedio de 2 dólares por m³ de agua. En las ciudades el costo del reciclado del agua puede ser muy inferior. En el 2015 la ciudad de Los Angeles ofreció a los productores de arroz del Valle de Sacramento dinero a cambio de hectáreas no cultivadas. Cada hectárea de arroz requiere 1 metro de altura de agua y reporta una ganancia de 1.000/1.500 us\$/ha. Los Angeles ofrecieron comprar agua a 2.100 us\$/ha a los agricultores que dejaron la tierra sin cultivar para poder abastecer de agua potable a la ciudad. El límite pactado fue por un máximo de 70 millones de dólares y el 20% de las tierras de la región en barbecho (reposo). Este esquema de no uso de agua para riego lleva un valor implícito de 0,21 us\$/m³.

El agua (ii): El riego en la agricultura

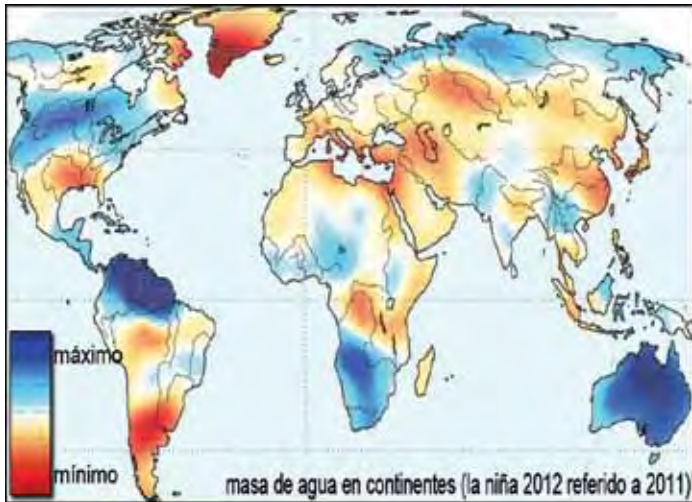
Agricultura de secano. Este tipo de agricultura solo se abastece de las lluvias y no hace un aporte adicional de agua. Muchos cultivos no deben tener provisión de agua adicional; tal el caso de las aceitunas de olivos de secano, que tienen mayor rendimiento que las de riego, con menos agua y más aceite. La técnica de secano se aplica en la Argentina para cerca del 90% de las cosechas, lo que sumado a la siembra directa y cultivos de cobertura la convierte en uno de los productores más eficientes en el uso del agua. El problema es que si se retrasa la época de lluvia puede provocar bajo rendimiento o la pérdida completa del cultivo. En particular se requieren cerca de 500 mm de lluvia anuales para una cosecha de maíz o soja. Se trata de 5 millones de litros de agua por hectárea que deben quedar almacenados en el suelo para ser extraídos por las raíces. Un kilogramo de soja requiere cerca de 1.300 litros de agua. El suelo es un silo donde se acumula el agua y donde lo que más importa es la textura (proporción de arcilla, limo y arena). Los poros de la tierra retienen el agua, y los poros grandes se dan en cultivos con siembra directa y rotaciones. A la inversa, los monocultivos con labranza tienden a tener poros pequeños.

En Trenque Lauquen (provincia de Buenos Aires), un estudio publicado en 2014 sobre campos productivos de 1.700 ha permitió mostrar que mediante rotación de cultivos se ahorra entre 35 y 55% de agua de lluvia respecto a los años '80. En el mismo estudio se encontró que la reposición de nutrientes (40 kg/ha) mediante fertilizantes es del 35 al 50% de lo necesario, por lo que se consume suelo. Respecto a los plaguicidas se utilizan mayor cantidad pero de menor toxicidad. Hoy el 77% del total son agroquímicos de baja toxicidad, contra el 25% de los años '80.

En la agricultura familiar el agua debe ser capturada y retenida en el lugar, evitando la evaporación (mediante cobertura natural) y el escurrimiento superficial (terrazas planas en terrenos inclinados). La única vía de salida del agua de lluvia debe ser la transpiración de los cultivos. Un sistema de aprovechamiento del agua en aplicaciones domésticas consiste en capturar el agua evaporada de la tierra y devolverla a ella. Esto se puede hacer con envases de plástico que cubren

la superficie, de esta forma se genera un efecto invernadero y la evaporación se pega en el envase. Se lo llama "riego por goteo solar" y se complementa con un envase de agua en el interior para proveer de fluido adicional permanente.

El caso: "la vitivinicultura". El 97% de la provincia de Mendoza es un desierto. La vid necesita 700 mm/año de agua para su desarrollo, pero en el 3% de superficie cultivable solo obtiene 200 mm/año desde las lluvias. El riego desde canales es indispensable. La vid es un cultivo



3321. La disponibilidad de agua. La cantidad de agua total se mantiene pero la dulce disponible se reduce. La disponibilidad de agua en los continentes depende del clima. Por ejemplo, "la niña" en el 2011-12 produjo exceso en el norte de Sudamérica y defecto en el sur (arriba-izquierda). En el opuesto "el niño", las lluvias al sur de Sudamérica aumentan. Las distintas regiones tienen diferente acceso a agua renovable (derecha). Sudamérica tiene buen acceso a agua renovable y bajo consumo de agua no renovable. El riego es una causa frecuente de stress hídrico. El riego por inundación es el de mayores pérdidas (centro-izquierda). El riego activo mediante bombas para aspersión requiere la disponibilidad de agua desde un acuífero o de canales superficiales, además de energía eléctrica (derecha). El riego por manga es una variante menos abusiva que la inundación pero requiere mucho trabajo manual (abajo-izquierda). El riego por goteo es el más eficiente de todos (derecha).

perenne intensivo que requiere 5 años para empezar a producir y se esperan obtener entre 5 y 10 t/ha. Cada 100 kg de uvas se producen 80 litros de vino. El clima de Mendoza es excelente para la vid, pero el suelo es de baja calidad. Se requieren fertilizantes orgánicos y químicos (nitrógeno y fósforo). Una alternativa es el abono verde obtenido del cultivo de cobertura como la vicia, mezclada con centeno y cebada. Se siembra al voleo entre las hileras y se corta antes que florezca para incorporar la materia vegetal al suelo. Cuando los racimos de vid llegan a la bodega se le aplica dióxido de carbono para matar bacterias. Luego se quitan los tallos; se la prensa para obtener el mosto (jugo de uva); se almacena en tanque sin oxígeno y se agrega levadura para la fermentación. Luego de 5 días se separan los sólidos de los líquidos y se vuelve a prensar. Los sólidos se envían para producir alcohol y el vino vuelve a los tanques de fermentación. Como a un organismo vivo, se le controla la temperatura diariamente. El vino es el resultado del riego.

Agricultura de regadío. Comparado con los cultivos en secano, el riego puede ser la diferencia entre una buena cosecha y la pérdida total. El riego permite una mayor producción, ocupando un área más pequeña y protegiendo tierras silvestres sin convertirlas a terrenos agrícolas. Pero, también pone en riesgo los recursos acuíferos subterráneos no renovables. La agricultura de regadío requiere inversiones en infraestructura (canales, acequias, aspersores, etc.). El método principal y más simple es el riego por inundación, por surco y con mangas. Otros sistemas emplean bombas, aspersores y riego de goteo, lo que supone una mejora de eficiencia.

(1) El riego superficial por inundación es la técnica de regadío tradicional y tiene variantes. Una modalidad es la inundación, típica en los cultivos de arroz. El terreno debe ser trabajado en forma horizontal rodeado por pequeños diques que contienen el agua. Este riego consume mucha agua y compacta el terreno. La segunda modalidad es la faja que se usa en colinas poco pronunciadas, siguiendo las curvas de nivel. Por lo que es exigente en mano de obra. La tercera modalidad es el surco que se construye en el momento de la labranza de la tierra. Otra alternativa es el uso de mangas que conducen el agua hasta el punto de liberación. Puede usarse una técnica que consiste en generar pulsos de agua que son más eficientes que el chorro continuo. El riego por inundación es poco eficiente porque emplea más agua de la necesaria.

(2) El riego por aspersión usa un cañón autopropulsado para regar la superficie como si fuera lluvia. Si se usa en horas crepusculares o nocturnas se reduce la evaporación y se aplica menor cantidad de agua. De un tipo similar es el riego pivotante, que parte desde un centro donde se aplica el agua a una maguera con lluvias distribuidas en forma periódicas. El conjunto gira lentamente accionado por motores eléctricos. Este tipo de riego se aplica en zonas desérticas y transforma el paisaje, mostrando círculos verdes dentro de un ambiente hostil.

(3) El riego por goteo (microaspersión o riego localizado redicular) canaliza el agua por tubos hasta el pie de la planta y se deja caer una gota por vez. Israel fue pionero en los años '60 en este tipo de riegos para sus zonas áridas y desérticas y es apropiado para zonas con poca disponibilidad de agua, usando pequeñas dosis pero frecuentes. Es de uso normal en invernaderos donde la lluvia no llega. Se menciona la posibilidad de extender el riego por goteo para campos de ganadería.

Las ventajas son muchas: se puede controlar por computador para mejorar las dosis; da la posibilidad de aplicar productos químicos junto

con el agua (correctores, desinfectantes del suelo, herbicidas, fungicidas, reguladores de crecimiento); si los conductos están convenientemente instalados se reduce la evaporación por exposición del agua al viento; evita la proliferación de malas hierbas y hongos porque forma zonas concentradas de humedad lo cual reduce la aplicación de herbicidas y fungicidas; elimina las corrientes de agua superficial de los riegos por gravedad; puede ser útil para terrenos pedregosos y de baja infiltración; tiene mayor uniformidad de cobertura. Sin embargo, la inversión inicial es elevada; requiere un tratamiento del agua y personal calificado; puede requerir la aplicación frecuente de abono porque el movimiento permanente de agua en el bulbo puede producir un lavado excesivo de nutrientes.

(4) El riego por textil exudante. Utiliza un tubo textil poroso por donde pasa el agua y forma una línea continua y uniforme de humedad en toda la longitud. Presenta menos problemas de obturación debido a sales disueltas y partículas sólidas en suspensión que el riego por goteo. Es resistente a la tracción y desgarró, de larga duración, manejable y fácil de instalar. El riego es uniforme, variando el caudal con la presión, y puede ser instalado en superficie o enterrado. Se aplica a cultivos en línea y jardinería. Es resistente a la radiación ultravioleta y a los productos químicos.

Listado de problemas. El agua superficial (ríos o lagos) se utiliza desde hace milenios y es una de las principales inversiones del estado desde las culturas del Nilo y Amarillo. Los sistemas de riego y drenaje manipulan las fuentes de agua con un impacto ambiental importante. El impacto depende del tipo de riego, la fuente de agua (superficial o subterránea), la forma de almacenamiento, los sistemas de transporte y distribución, y los métodos de entrega o aplicación. Los problemas son la saturación y salinización del suelo; el aumento de enfermedades relacionadas con el agua; el reasentamiento de pobladores locales; el aumento de plagas y enfermedades agrícolas por falta de mortandad durante la temporada seca; la creación de un microclima más húmedo; podría ser causa de erosión; posible contaminación del agua superficial y subterránea; reducción de la calidad del agua por eutrofización; etc.

Los grandes proyectos de riego (represas y desvío de aguas) producen cambios muy importantes en el régimen hidrológico y los ecosistemas acuáticos. Al regular el caudal se cambia el uso de la tierra y la ecología de la zona aluvial; se trastorna la pesca; se permite la invasión del sales desde la tierra hacia al río o capas subterráneas; el riego reduce el caudal del río aguas abajo; aumenta la concentración de la aguas servidas causando contaminación y peligros para la salud; puede perjudicar las especies acuáticas y provocar el crecimiento de malezas que obstruirán las vías fluviales; al usar agua con sedimentos se puede alzar el nivel de la tierra regada a punto que se impida el riego por desnivel.

La saturación y salinización de los suelos son comunes en el riego superficial. La saturación es causada por el drenaje inadecuado y el riego excesivo, o por fugas de los canales y acequias. La salinización es mayor en áreas áridas y semiáridas. Se produce por la evaporación superficial en suelos salinos que levanta las sales desde los niveles bajos del suelo hacia la zona de arraigamiento. La alcalinización (acumulación de sodio en los suelos), es difícil de corregir. Los problemas se atenúan si se instalan sistemas adecuados de drenaje. El uso del riego por aspersión o por goteo reduce el problema de saturación porque limita las cantidades de agua en circulación. Si se usa agua freá-

un planeta

tica se puede sobreexplotar el recurso, con un consumo mayor que la tasa de recuperación; puede producir el descenso del nivel del agua freática; hundimiento de la tierra; disminución de la calidad del agua e intrusión de agua salada (en las áreas costaneras).

También se producen trastornos sociales: el riego cambia la forma de uso de la tierra y los modelos agrícolas; se tendrá menor acceso a los recursos de agua, tierra y vegetación; se agudizan las desigualdades en la distribución del agua; podrá haber aumento de enfermedades; hay riesgos por el uso de agroquímicos y el deterioro de la calidad del agua. La reutilización de aguas negras para riego puede transmitir enfermedades contagiosas, donde los grupos de riesgo son los trabajadores agrícolas y los consumidores de los vegetales. Si ésta agua se usara en riego por aspersión se dispersarían los patógenos por el aire. Los riesgos dependen del grado de tratamiento que recibieron las aguas servidas.

Invernaderos. La agricultura en invernaderos es una solución racional a la necesidad de producir alimentos frescos todo el año. Son lugares cerrados por vidrio o plástico que genera un "efecto invernadero". En Holanda se hicieron los primeros invernaderos en 1850 y hoy el 0,25% de la superficie terrestre de Holanda esta ocupada por invernaderos (pero no es el país que más produce con este método). El impacto ambiental es significativo debido al consumo de energía para iluminación y calefacción. La nueva tecnología de lamparas led permite ajustar la longitud de onda de emisión a las ventanas de absorción de la fotosíntesis (máximos en 400-500 y 650 nm), en lugar de esparcir la energía en todo el espectro. Además, los ajustes pueden hacerse por cada vegetal de forma de aprovechar características específicas. Por ejemplo, la luz roja estimula al tomate y al contenido de vitamina C en la espinaca.

Las plantas requieren de nutrientes pero no del suelo. Se pueden usar sustratos sólidos para el sostén de las plantas, aunque no sean necesarios. Cuando no se usa suelo se denomina "cultivo sin suelo (natural)", el cual es un concepto amplio. La hidroponía es un concepto más preciso y consiste en aplicar los nutrientes mediante una corriente regulada de agua (soluciones minerales). También puede usarse la aeroponía, que consiste en alimentar a las plantas desde un spray con las raíces en el aire. El cultivo sin suelo sólo requiere que no haya un suelo



3322. Hidroponía y aeroponía. Eurofresh (arriba) es el más grande invernadero en Estados Unidos con 318 ha. Desde 1997 produce tomates sin pesticidas mediante la tecnología de hidroponía. En el centro las colmenas de abejas para polinización. Para la aeroponía (abajo) se muestran las bateas donde se cultivan los plantines y las plantas en estado para ser cosechadas. La aeroponía no tiene suelo y las raíces se alimentan desde un spray con nutrientes. El ambiente cerrado permite reducir las plagas y eliminar el uso de pesticidas. En el 2015 la NASA produjo por primera vez un vegetal comestible en órbita: la lechuga romana roja *Outredgeous*. Es parte del proyecto Veggie para proporcionar vegetales sustentables como suplemento alimentario y para mejorar el estado de ánimo (derecha). La cámara de cultivo aeropónica se alimenta con luces led de diferente longitud de onda para optimizar la conversión de energía eléctrica en materia vegetal. La tecnología podría aplicarse a la producción de vegetales en ciudades.

(arcilla o cieno); pero puede usarse arena (aunque también es un sustrato). Es recomendable cuando no hay suelos con aptitudes agrícolas. La hidroponía es siempre un cultivo sin suelo agrícola, pero no todos los cultivos sin suelo son hidropónicos. Un cultivo sin suelo puede no usar soluciones minerales hidropónicas.

La hidroponía (agricultura hidropónica, del griego agua-trabajo) se caracteriza porque las raíces reciben una solución nutritiva equilibrada, disuelta en agua y con todos los elementos químicos esenciales. El crecimiento se puede hacer en una solución mineral o en un medio inerte de soporte (como arena lavada o grava). Quienes alientan este tipo de producción dicen que los tomates hidropónicos consumen el 10% del agua de los tradicionales y tienen casi 20% más de productividad por unidad de superficie. Es una técnica muy antigua; los aztecas fueron la primera civilización en usar agricultura hidropónica eficientemente.

Esta técnica toma en cuenta que el suelo actúa como reserva de nutrientes minerales pero no es esencial para que la planta crezca. Casi cualquier planta terrestre puede crecer con hidroponía. Esta actividad avanza donde las condiciones para la agricultura resultan adversas. Combinando la hidroponía con invernaderos se llegan a rendimientos muy superiores a los cultivos a cielo abierto. El cultivo hidropónico requiere conocimientos avanzados ya que las plantas no cuentan con el efecto amortiguador que brinda un suelo agrícola y la oxigenación de las raíces genera diversos problemas. Sin embargo, soluciona el problema del agotamiento de los suelos por patógenos o alcalinidad; pero, puede producir un daño ambiental cuando se utiliza a escala industrial.

Los cultivos hidropónicos iniciales eran de circuito abierto, porque los residuos se dispersaban sin considerar el impacto ambiental. Luego se desarrollaron los circuitos cerrados donde se reutiliza la solu-

ción nutritiva, con mejor protección ambiental y economía de escala. El esquema de circuito cerrado consiste en una fuente de agua que se impulsa por bombeo y que pasa por recipientes con los nutrientes concentrados, cabezales de riego y canales donde están los sustratos y plantas, llegando hasta el receptor del efluente. La recirculación se logra equilibrando y desinfectando las soluciones hidropónicas. Si es necesario los efluentes se descargan en lugares protegidos que cuidan del suelo y el agua natural. Este tipo de cultivo no es orgánico ya que utiliza sustancias químicas para la solución nutritiva que alimenta la planta, pero puede volverse orgánico utilizando sustancias naturales.

La aeroponía (agricultura aeropónica), se aplica desde 1942 en investigaciones y se estudió en la NASA para la estación espacial Mir. Se trata de un cultivo sin suelo y en un ambiente cerrado de aire y vapor (con spray rico en nutrientes liberado en forma regular por un roceador). La técnica se basa en el control de la fórmula líquida (el tamaño de la gota de niebla es crucial) y el control de enfermedades sin plaguicidas. El ambiente cerrado y controlado permite evitar la propagación de infecciones. En los invernaderos convencionales, el suelo propaga las enfermedades y debe ser tratado o cambiado. En la aeroponía, si una planta se enferma, puede ser removida sin afectar al resto. En las investigaciones para el espacio se trabajó con semillas y frijoles adzuki (un cultivo asiático con alto contenido de proteínas). En aplicaciones comerciales se ensayaron todo tipo de plantas.

Según el fabricante de equipamientos Agrihouse, la aeroponía comercial permite reducir el consumo de agua en un 98%, los fertilizantes en 60% y eliminar los pesticidas, mejorando las cosechas en un 45-70%. El ritmo de crecimiento y la cantidad de cosechas anuales aumenta, ya que las raíces tienen más exposición a los gases necesarios para la fotosíntesis. También, la densidad de plantas por m² se incrementa.

El suelo: más que carbono, agua y sal

El suelo. Según la funcionalidad pueden clasificarse como: suelo arenoso (tienen poca materia orgánica y no retienen bien el agua); suelo húmico (tienen mucha materia orgánica humus y son oscuros); suelo calizo (tienen muchas sales calcáreas, no aptas para el agro); suelo arcilloso (los granos de arcilla retienen el agua formando charcos); suelo pedregoso y suelos mixtos. Los suelos se describen por: características químicas (poder de absorción, pH); por la textura (grano fino, medio o grueso, cohesión y adherencia); por la porosidad (absorción y retención de agua o gases).

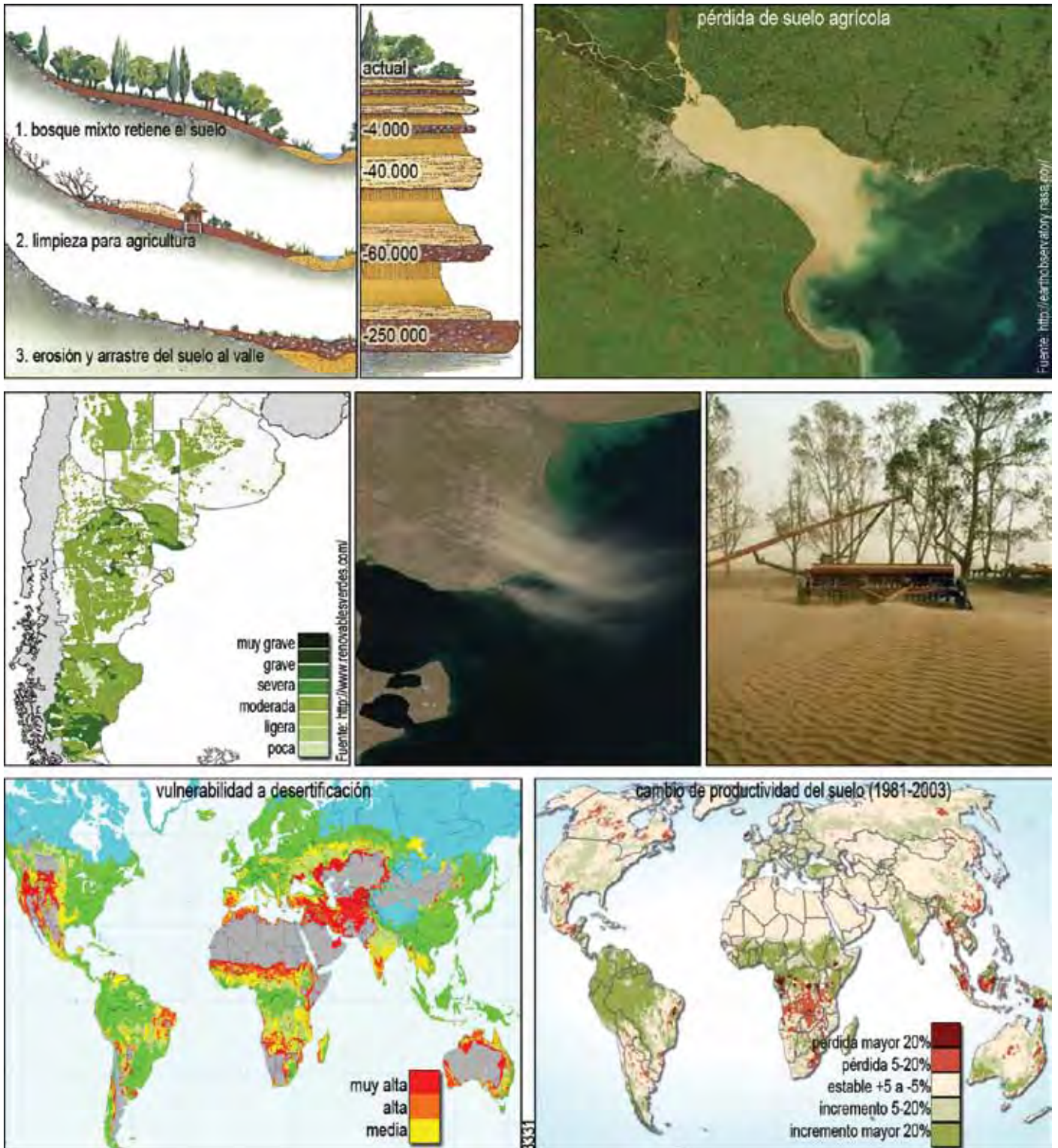
Los suelos se degradan debido a la meteorización (alteración por agua, viento, temperatura; seres vivos y minería); la pérdida de vegetación y la erosión eólica; la pérdida de estratificación; el acceso a la superficie de sales de las capas inferiores (salinización); el sobrepastoreo en la ganadería o sobreexplotación agrícola. Cuando se deforesta un suelo arenoso se altera en forma dramática la vida microbiana del suelo y la pérdida es irreversible porque el agua lava los nutrientes. En cambio, si se deforesta un suelo arcilloso (fangoso) los microorganismos quedan atrapados en el barro.

El suelo (1.500 GtC) contiene más carbono que la atmósfera (800 GtC) y biósfera (600 GtC) combinados. Esto coloca al suelo en el centro del debate en la conservación: la pérdida de suelo puede liberar más

carbono del que absorbe, como en el caso del permafrost. Se calcula que se pierden 24 Gt de suelo fértil al año producto de la erosión, inundaciones y sobreexplotación. Una vez perdida la capa superficial de suelo solo queda un terreno inerte. La clave de la conservación es el conocimiento de la interrelación entre vegetales, microorganismos y hongos. Un juego que fija nutrientes y descompone la biomasa. El calentamiento global puede acelerar la acumulación o la descomposición por bacterias y liberar el carbono del suelo como CO₂ o metano. La acumulación de carbono no depende solo del crecimiento de los árboles, sino también de la interacción raíces-suelo.

Seco y salado. En el México precolombino, el incremento de la población obligó a la deforestación para producir alimentos en la península de Yucatán. Esto trajo una reducción de lluvias del 10-20%, según los registros de estalagmitas en cuevas. La deforestación y pérdida de lluvias contribuyeron a la caída de los mayas en el 950 dC. Desde esa época la selva se repuso hasta la actualidad.

La aridez es un fenómeno estructural climático y espacial (se refiere a regiones áridas). La sequía es un fenómeno coyuntural y temporal (se refiere a períodos secos). El término desierto, se reserva para



3331. El suelo (i): erosión y desertificación. El perfil de terreno en Argólida (Grecia) muestra que las sociedades antiguas esquilaban el terreno como en la actualidad (arriba-izquierda). En distintas épocas el suelo terminaba en el fondo del valle debido a la deforestación que se realizaba para agricultura. En la región pampeana la pérdida de suelo (y nutrientes) se pone en evidencia en la boca del Río de la Plata (derecha). Es un proceso en parte inevitable ya que la mayoría proviene de la erosión de los Andes. La Patagonia está muy afectada por la desertificación y erosión eólica (centro-izquierda) y se pone en evidencia en las plumas de arena que brotan hacia el Atlántico (centro). En el sudoeste de la provincia de Buenos Aires la pérdida de suelo por sobreexplotación llevó al abandono de campos agrícolas (derecha). Por ejemplo, se sabe que la civilización sumeria colapsó por la salinización del suelo debido al riego; es uno de los peligros que debe evitar la actual civilización global. La relación entre el suelo y la vida fue reconocida en la antigüedad: Adán deriva de adama en hebreo que significa suelo y Eva de hava que significa vida. En el planeta ciertas zonas son más vulnerables a la desertificación (abajo-izquierda). Por ejemplo, el sur del Sahara que avanza al centro de África. La pérdida de suelo afecta a la productividad agrícola (derecha) y es el preámbulo de la desertificación. La Argentina se encuentra expuesta a estos procesos.

identificar un paisaje desnudado a causa de la sequía y aridez. La desertificación es la degradación del suelo por cambios climáticos y actividades humanas, que produce la pérdida de potencial biológico, productivo y económico del suelo. El calentamiento global afecta las precipitaciones y la evaporación, de este juego resulta si se tendrá aridez a futuro. La sequía produce la muerte de los árboles por 2 causas. Una es la falta de agua que reduce la actividad de la fotosíntesis y respiración. La otra, son las tensiones internas en el tronco y raíces que afectan al sistema de transporte de nutrientes, desde la raíz a la hoja.

Otro proceso paralelo es la salinización del suelo. Las causas son: desecación de lagos o ríos; en los terrenos cercanos al mar por deposición de la bruma salina; debido al ascenso de la capa freática (revenimiento freático) llevando sales a la superficie o por deficiente drenaje del agua de riego. La salinización es una tendencia global que produce una reducción del rendimiento agrícola. A nivel mundial las tierras de regadío son 310 Mha, de las cuales 62 Mha están salinizadas. En la India en los próximos 20 años se podría perder un 50% de rendimiento en las cosechas por esta causa. La forma de revertirlo es mediante la plantación de árboles, el arado profundo de la tierra o la plantación de cultivos tolerantes. Otra alternativa es el cultivo por franjas, sacrificando sin cultivos ni riego a franjas alternada. La humedad lleva las sales desde la franja que se cultiva (húmeda) a la otra (seca).

El agua podría ser fuente de conflictos, aunque por el momento se resuelven dentro de la diplomacia. El Indo es un río que divide a los rivales India y Pakistán. En 1960 se firmó un tratado que dividió el uso de los afluentes y dio 10 años de plazo a Pakistán para hacer las obras de ingeniería para asegurar la provisión de agua. Hace 50 años entre Israel y Siria existieron acciones militares por el río Yarmouk, Jordán y el Mar de Galilea. En 2013 el proyecto de la represa Millennium en Etiopía puso en riesgo las relaciones con Egipto por el aporte de aguas al Nilo que serían destinadas al riego del agro. Otros casos similares fueron las represas de Al-Thawra (Irak y Siria) o Ataturk (Irak y Turquía). En ninguno de estos casos existieron conflictos armados por el agua y la pérdida de suelos río abajo. En la época de construcción, algunas veces desde la Argentina se levantaron por el control de las aguas mediante la represa Itaipú (Brasil-Paraguay). El temor era que en forma deliberada o accidental el río Paraná se viera desbordado por el flujo desde el norte. Los ríos que han perdido mayor cantidad de cauce están en India (desde Himalaya) y el Tigris-Eufrates (consumo de acuíferos para el agro). Siempre el problema ocurre cuando un país puede cerrar el grifo de un río sin compensación al vecino y generar una carestía del agua (ausencia y aumento de precio).

Argentina: ¿desertificada? En la Argentina (según la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable), las tierras en riesgo por desertificación suman el 75% de la superficie, incluyendo las tierras áridas y semiáridas que contienen al 30% de la población. Es un problema que relaciona el cambio climático, la conservación de la biodiversidad y el manejo sustentable de los recursos naturales. Unas 60 Mha (la Argentina tiene 270 millones de hectáreas) están afectadas por desertificación y el crecimiento puede ser del 10% anual. Las regiones áridas disponen sólo del 12% de los recursos hídricos superficiales del país y, junto a las aguas subterráneas, permiten el riego en más de 1,25 Mha en oasis. Pero, diversas causas (deficiencias en el riego, inadecuada sistematización del terreno, mal manejo del agua y déficit en la asistencia técnica al productor), llevaron a que cerca del 4% de la superficie presenten problemas de salinización y revenimiento freático.

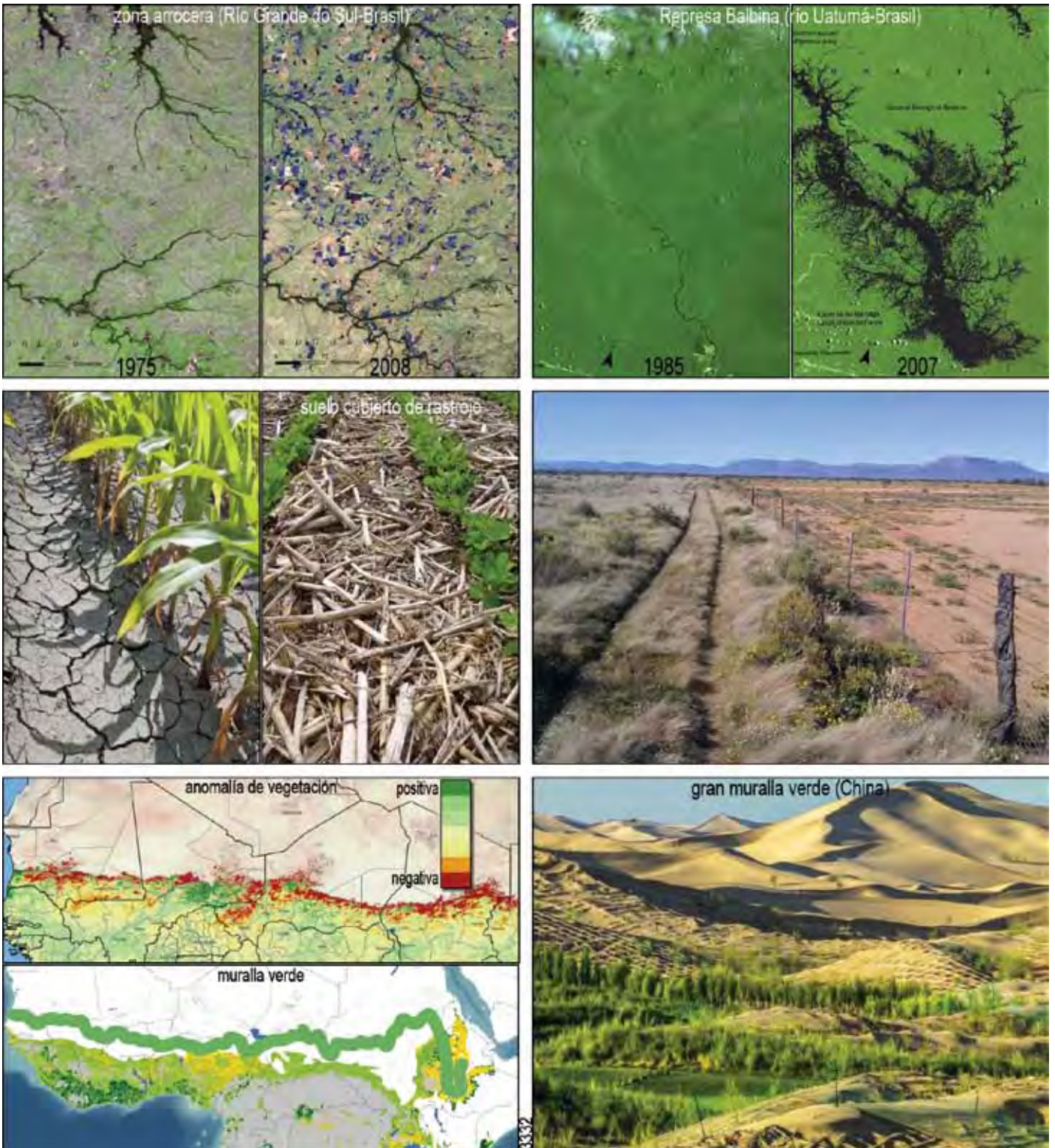
La disminución de bosques acompaña a la desertificación. En los últimos 75 años la reducción de la superficie forestal natural alcanzó el 66% de su superficie original (mayoritariamente en las zonas secas). Además de la ocupación del territorio y la modificación de los ecosistemas, la pérdida de biodiversidad se eleva al 40% de las especies vegetales y animales en peligro de extinción. Principalmente en regiones marginales y en especial en las expuestas a la desertificación.

El estado por regiones es el siguiente: (1) La Patagonia (80 Mha de estepa con relieve de mesetas) está afectada por el sobrepastoreo ovino y los sistemas ganaderos extensivos en el pastizal natural. Se acentúan las condiciones de aridez por la disminución de la cubierta vegetal y coexisten con los valles irrigados con severos procesos de salinización. Hoy, más del 30% de la Patagonia está afectada por erosión severa eólica o hídrica. (2) La cercana región Pampeana Semiárida (20 Mha) es similar a la Patagonia, con suelos arenosos se aplicaron prácticas agrarias incorrectas y sobrepastoreo. Sumado a las sequías periódicas se desató una erosión eólica del 40% del área generando médanos y favoreciendo la erosión hídrica del 20%. (3) El Chaco Semiárido (32 Mha en el centro-norte) se ve sujeto a desmonte y sobrepastoreo, junto con la agricultura expoliativa. Los suelos se exponen a precipitaciones y temperaturas extremas, produciendo erosión, pérdidas de fertilidad y eficiencia hídrica. (4) Hacia el oeste, el Chaco Árido tiene las condiciones extremas de aridez del Gran Chaco Americano. (5) En la Puna (8 Mha) existen procesos de erosión hídrica y eólica por sobrepastoreo. (6) Hacia el noroeste (15 Mha) en áreas montañosas con bajo riego y ganadería extensiva en los faldeos, presentan erosión por sobrepastoreo, deforestación e incendios. (7) En Cuyo (20 Mha) se mantienen áreas mediante riego, con problemas de salinización y revenimiento freático (hundimiento de la capa de agua subterránea) en los oasis de cultivo. Las llanuras fluvioeólicas están sujetas a sobrepastoreo y deforestación.

Suelo: recurso natural y ecosistema. El suelo es un bien o servicio proporcionado por la naturaleza sin alteración por parte del hombre. Es un recurso natural renovable (se puede crear suelo) pero escaso y en disminución (se consume y se pierde). A diferencia de otros recursos naturales como los minerales, combustibles fósiles, el agua y el aire (que son apreciados por la química de las moléculas), el suelo es valioso por la vida que contiene. El suelo es una delgada capa sobre la cual se realizan las actividades biológicas más variadas en forma natural. El suelo no solo es un recurso sino que es a la vez todo un ecosistema. Un suelo sin vida carece de valor productivo. Además, se comporta como un ser vivo: evoluciona. Por eso, ganan o pierden fertilidad como respuesta a la forma de manejo.

Una revisión de la "Ley de Suelos" (la actual es de 1981) puede ser una herramienta para obligar a tener un proyecto de conservación del suelo a mediano y largo plazo por parte del propietario (o arrendatario) de los campos. La revisión incluiría la integridad, balance orgánico y mejora de los nutrientes. Se intentará evitar que el productor maximice las ganancias a corto plazo a costo de la pérdida de un recurso natural común. Desde el punto de vista de la conservación, el propietario de la tierra tiene derecho al uso pero unido a la obligación de la conservación del recurso natural (suelo, agua, vida). Para definir correctamente la responsabilidad se requiere saber cuáles son las prácticas que debe usar el productor de forma que mantenga la calidad del suelo.

El proyecto Biospas (Biología del Suelo y Producción Agraria Sustentable) es organizado por varias instituciones de la Argentina desde 2007. Tiene el objetivo de comparar la evolución del suelo en 3 modali-



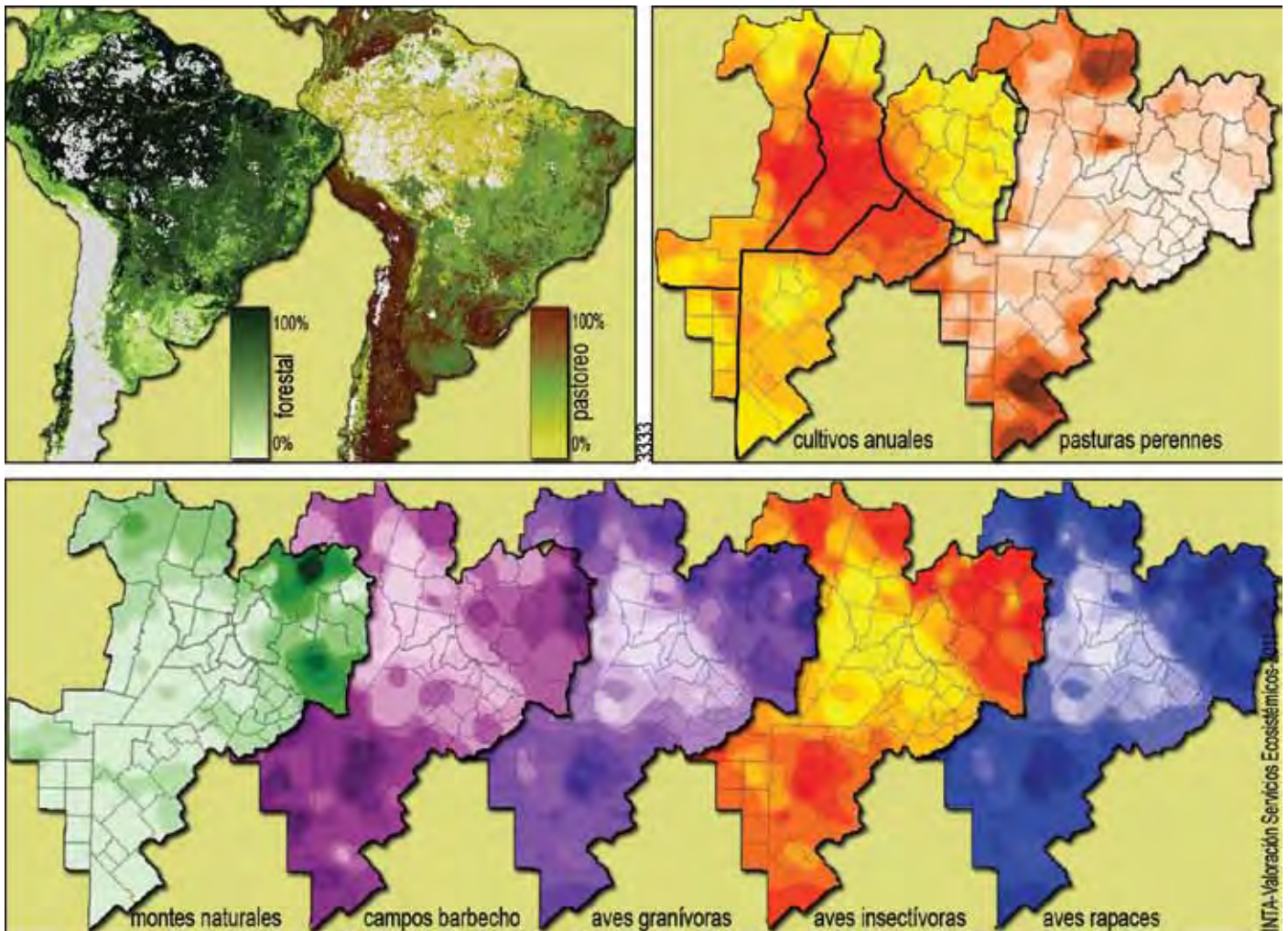
3332. El suelo (ii): uso, protección y remediación. En Sudamérica el cambio en el uso del suelo se ejemplifica mediante dos casos. En el sur de Brasil (arriba-izquierda) la producción de arroz ocupa más de 1.000 Mha (60% mediante riego por bombeo) y es responsable del 20% de las emisiones totales de metano de Brasil. La represa de Balbina (derecha) ocupa un tercio del territorio indígena Waimiri-Atroari. Se construyó para abastecer de electricidad a Manaus y cubre 2.360 km². Diseñada para generar 250 MW, solo llegó a la mitad. La protección del suelo se ejemplifica con dos casos. El suelo agrícola cubierto con el rastrojo restante de la cosecha anterior (centro-izquierda) ayuda a preservar el suelo. Además colabora a reducir la evaporación y conservar el agua. El manejo de campos (derecha) se beneficia con la rotación de ganado entre potreros vecinos. El avance de la desertificación se controla mediante las "murallas verdes" (abajo). En África para detener el avance del Sahara (al sur del Sahel) y en China para contener el desierto de Gobi (al noroeste en la frontera con Mongolia). Hoy día, las tormentas del desierto de Gobi llegan a Beijing. La forma de reducir el avance del desierto fue la implantación de árboles de rápido crecimiento en filas para contener el viento y facilitar la producción en su interior.

dades de uso: (1) campos con siembra directa y rotación de cultivos, (2) campos en régimen de monocultivos y (3) el ambiente natural como referencia. La calidad del suelo se define en términos químicos, físicos y biológicos. Los resultados parecen mostrar que la calidad del suelo en términos de actividad bacteriana en campos con rotación (1) se asemeja más al natural (3) que al campo monocultivo (2). El objetivo es incluir las conclusiones en la agricultura certificada para que sea de cumplimiento obligatorio. En el suelo se juega el partido de la productividad y conservación. Se necesita conocer mejor: (1) la interpretación de los procesos biológicos; (2) el impacto de los patógenos en tallos y raíces; (3) identificar los indicadores de performance de la gestión ambiental y (4) el uso de microorganismos para aplicaciones agronómicas (fijación biológica, solubilidad de nutrientes, bio-remediación, etc).

Servicios ecosistémicos (SE). El uso del suelo, cuando se destina a la producción agrícola, tiene valores tangibles de mercado en el PBI. Pero, la pérdida de un activo ambiental como el suelo "no productivo" (montes, pastizales) no se percibe por ser intangible. La valuación de estos servicios pueden seguir procedimientos subjetivos como: "el

valor de reemplazo", "el costo evitado", "el valor intrínseco de servicios intangibles". Es posible identificar los atributos físicos y biológicos (productividad primaria, áreas anegables de contención) que se asocian a los SE, pero el problema surge cuando se decide pagar por los SE. ¿Se remunera el stock (bienes) o los flujos (servicios) naturales? Los bosques son valiosos por acumular carbono, liberar oxígeno y por producir evaporación y lluvias y estos servicios compiten con la deforestación y producción agrícola. Una renta económica que compite con una pérdida ambiental. Los SE que se suelen compensar en el mundo son: captura de carbono, conservación de la biodiversidad, servicios hídricos y belleza escénica. Normalmente se trata de un valor por unidad de superficie. En la Argentina los SE no son remunerados y en algunas provincias se exime de impuestos a la tierra cuando las propiedades son declaradas reservas privadas (p.e., Misiones).

Murallas verdes. Los desiertos avanzan en forma permanente, en parte por el calentamiento global o por el mal uso de la tierra agrícola. El Sahara devora 1,5 Mha al año de tierra fértil. Para detener el avance se proyectó la gran muralla verde, que se despliega desde el



3333. El suelo (iii): producción y vida silvestre. Normalmente los suelos están adaptados para un tipo de producción más que otra (arriba-izquierda). Por ejemplo, los suelos para pasturas (máximo marrón) y forestación (máximo verde) se complementan. Quedan fuera las zonas no aptas para explotación como el desierto de Atacama o los bosques protegidos del Amazonas (en blanco). En lo que respecta a la producción agrícola sirve como ejemplo la "zona núcleo sojera" de la región pampeana (derecha). Los diagramas representan datos del período 2003-2008 con centro en el sur de Santa Fe. La zona se especializa en cultivos anuales en color rojo. Las pasturas perennes son complementarias de la producción agrícola y se destinan a ganadería y lechería. Los montes naturales y campos en barbecho (abajo-izquierda) se relacionan en forma directa con la abundancia relativa de especies de aves (granívoras, insectívoras y rapaces). La zona núcleo agrícola está casi vacía de aves silvestres y los campos en barbecho (en descanso luego de la agricultura) coinciden con la abundancia de aves granívoras.

2008. Son 7.000 km de longitud atravesando África al sur del Sahara, con un ancho de 15 km. Es una barrera continua de *Acacias*, *Tamarindos*, *Jatrofas* y *Azufaifos*. La muralla está detenida en Chad por problemas políticos y en el Cuerno de África por la hambruna. Donde se trabaja tiene éxito en la fijación de dunas y en la creación de huertos.

También en China se construye una muralla verde para detener el avance del desierto de Gobi (frontera Mongolia-China). Este desierto produce tormentas de polvo que llegan hasta Beijing. En 1978 se inició el programa de plantación de tiras de bosques como rompevientos. En el 2006 se tenían 25 Mha y para el 2050 se esperan 410 Mha, con 100.000 millones de árboles en más del 10% del territorio de China. A lo largo de 4.480 km de longitud se trabaja con especies de Álamos, Eucalyptus y Alerces. En el 2009 se sembraron 6 Mha con especies de

crecimiento rápido para atrapar mayor cantidad de carbono en el menor tiempo posible. El proyecto no está libre de críticas. Se desconoce la mortandad de árboles en el desierto y si la continuidad requerirá una plantación permanente de reposición. Se dice que hay un consumo desmedido de aguas subterráneas y que se pierden pastos y arbustos más resistentes a la sequía y que protegen más frente a la erosión. Las autoridades chinas dicen que el sistema está funcionando correctamente, aunque la credibilidad de las agencias encargadas del proyecto se puso en duda. Además de la construcción de murallas es importante la forestación con sauce (*Salix sp*) que se muestra muy útil en los procesos de remediación de suelos contaminados. El sauce es un árbol de hoja ancha que absorbe metales pesados (zinc, níquel, cromo, cobre) y crece en suelos ácidos (pH4). Además produce una gran cantidad de madera (2,9 t/ha).

Los bosques (i): pérdidas y fragmentación

La deforestación. La pérdida de bosques en manos de la cultura agrícola empezó hace 8.000 años cuando se talaban bosques con hachas de sílex. La agricultura se extendió en base a la limpieza del terreno (árboles y arbustos) para que la luz del sol llegara al suelo. Luego de uno o dos años, en la estación seca, se quemaban los residuos y árboles muertos y se sembraba en el suelo enriquecido con las cenizas. La deforestación y quema de pastizales está en la base de la agricultura, pero talar árboles sin reforestar produce un serio daño al ambiente, se pierde en biodiversidad, genera aridez y reduce la fijación de CO₂. Así ocurría en forma sustentable (agricultura de tala y quema) porque las extensiones eran pequeñas, pero el advenimiento de la agricultura intensiva disparó la deforestación.

La Tierra tiene unos 14.800 Mha de superficie. En el primer censo global de bosques (1923) habían unas 10 ha por habitante, valor que se redujo a menos de 0,5 ha/hab. Es el resultado de tener 3.500 Mha de bosques (dato de FAO-1995) y 7.000 Mhab (millones de habitantes en 2011). Una tercera parte de la Tierra está cubierta por bosques (equivalente a toda América). Los bosques fueron explotados para la obtención de madera, frutos, sustancias naturales o para asentamientos humanos, ganadería y agricultura.

Las pérdidas forestales son hechos naturales. En la década 2000-2010, solo en 4 grandes tormentas en Europa se perdieron 410 Mm³ (millones de metros cúbicos) de madera. Una pandemia del escarabajo en Canadá en el 2004 afectó a 13 Mha y mató a 435 Mm³ de madera. En una ola de calor en 2010 en Rusia se afectaron 2,3 Mha. Las tormentas de viento en 1999 en Europa destruyeron un tercio de la captura de carbono anual. La reducción del bosque lluvioso (pluviselva) tropical mantiene la atención del público (la región amazónica es el 22% de la superficie forestal mundial). Pero, en forma más silenciosa, los bosques secos tropicales se sacrifican para la agricultura.

Un caso interesante de relación entre bosques y escorrentía ocurrió en el río Mekong. La Guerra de Vietnam arrastró a la deforestación del 70% de la selva y el reemplazo por arbustos. Esto redujo la transpiración de las plantas y aumentó la escorrentía en el 15% (valor actual respecto al anterior a la guerra). Lo opuesto ocurrió en Laos, donde la

guerra se tradujo en el abandono de tierras agrarias productivas y la recolonización por el bosque. La tendencia aquí fue la opuesta, con una disminución del 30% de escorrentía. Los datos fueron obtenidos en base a la meteorología y los sedimentos en el Mekong y son un ejemplo de conexión entre la actividad humana, el bosque y la escorrentía hacia los ríos.

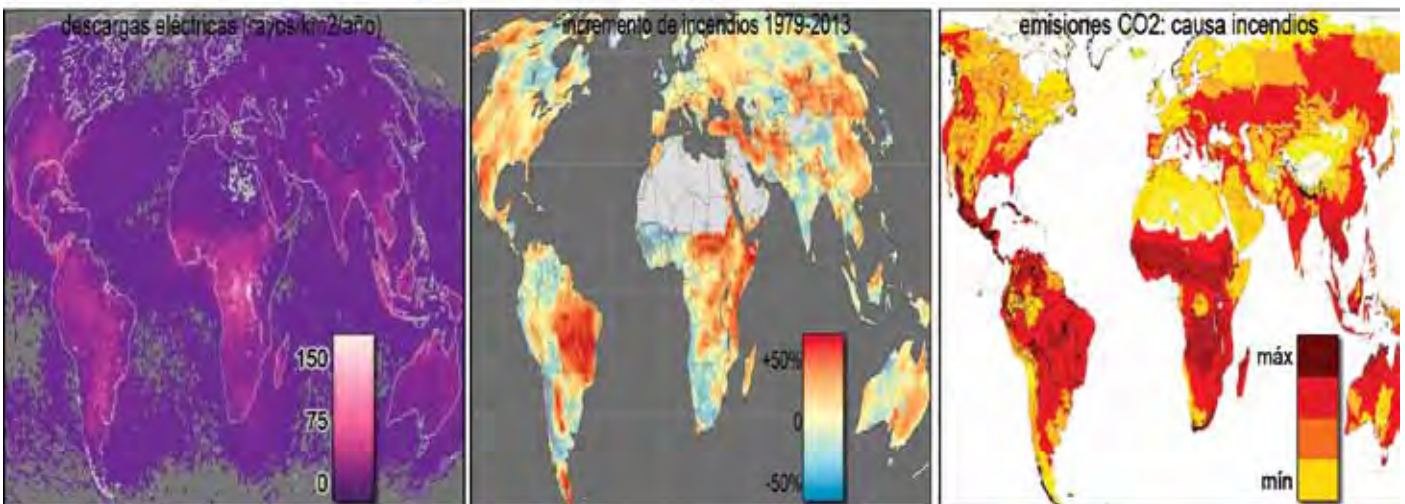
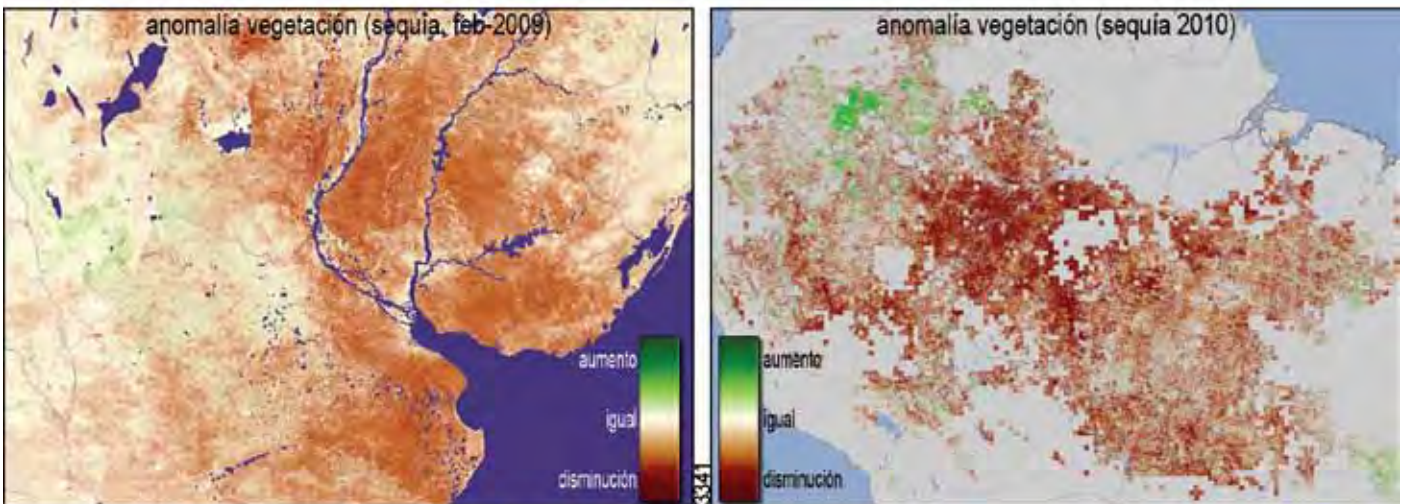
El caso: "aceite de palma". Indonesia está formada por más de 13.000 islas boscosas y el carbono que almacena se pierde por deforestación (son el 80% de las emisiones de carbono del país). En el 2011 fue el quinto emisor global con 0,3 GtC solo por cambio de uso del suelo, ya que pierde 0,84 Mha anuales. El ritmo de deforestación en Indonesia es superior al Brasil (0,46 Mha). La pérdida de bosques se traduce en aumento de sequías, inundaciones y deslizamientos de tierra. Como acción preventiva se implementó una moratoria forestal para reducir estas emisiones en 26% para el 2020. Consiste en no otorgar nuevas licencias para convertir bosques y turberas en plantaciones de madera o aceite de palma.

La palma africana (*Elaeis guineensis*) entrega frutos del cual se obtiene aceite semisólido a temperatura ambiente y saturado de grasas vegetales. Tiene elevada producción por hectárea y alta calidad cuando se usa para freír. Se aplica en cosméticos, alimentos y biocombustibles. Según la FAO en el 2006 el aceite de palma era el 65% a nivel global de los aceites vegetales. Greenpeace realizó en el 2015 una campaña contra el Banco Santander por financiar una papelera indonesia acusada de talar no declaradas. También denunció a la empresa Wilmar, el mayor procesador de aceite de palma, de explotar en forma ilegal el Parque Tesso Nilo donde vive el tigre de Sumatra en peligro de extinción.

Como medio de mejora se creó la RSPO (*Roundtable Sustainable Palm Oil*) que certifica la cadena de suministro (desde la producción) de aceite de palma en forma responsable. En 2015 eran más de 2.000 miembros que manejaban casi el 20% del mercado (12 Mt anuales). Además de las empresas se encuentran las organizaciones ambientalistas y de conservación, como WWF. Pero, Greenpeace critica a RSPO por ser blanda en la protección de bosques y turberas, ya que me-

diante fotografías satelitales muestra como miembros de RSPO están deforestando. Además, RSPO no implementa un plan de reducción de emisiones de CO₂ y el control de incendios. Greenpeace llama a esto "deforestación certificada" y busca que las empresas vayan más allá con requerimientos adicionales a los productores.

Bosques sudamericanos. La selva amazónica retiene cerca de 100 GtC que es el 17% del carbono retenido en la vegetación global. Equivale a 10 años de emisiones de combustibles fósiles y ocupa 5,3 Mha de superficie. Un conteo de largo plazo mostró que en el Amazonas hay 390.000 millones de árboles en 16.000 especies. Pero, solo 227



3341. La pérdida de bosques. La deforestación en Indonesia y otras islas vecinas se volvió un emblema de la producción industrial de aceite de palma. Es el principal aceite vegetal a nivel global (arriba) y se lo usa para alimentos, cosméticos y biocombustibles. Para contener el avance en la destrucción de bosques se formó la organización RSPO (aceite de palma responsable). En Sudamérica las sequías en la Argentina y Amazonas (centro) se observa como anomalía de la vegetación. El rojo indica la pérdida de vegetación respecto al año anterior. La restauración forestal intenta reponer los bosques en áreas de baja productividad agrícola. Otra causa de pérdidas son los incendios (abajo). Existe una correlación entre las descargas eléctricas producidas por tormentas (izquierda) que es una de las causas de los incendios forestales y las emisiones de CO₂ debida a incendios (derecha).

especies tienen el 50% de la población y 182 especies retienen el 50% de la cantidad de carbono. La biodiversidad existe, pero las especies triunfantes son unas pocas. También se verificó que los árboles más viejos guardan mayor cantidad de carbono. Una propuesta dice que se deberían plantar aquellos árboles que más carbono acumulan. Pero, es probable que un monocultivo de una especie autóctona no tenga el éxito que tienen los miembros de esa especie en el ambiente selvático.

El Amazonas respira en forma casi cerrada: inhala CO₂, libera oxígeno y genera madera en la masa selvática y luego el suelo y las cuencas de ríos se ocupan de procesar la materia vegetal y liberar carbono. Las bacterias del suelo liberan el 45% y el río el 50% del carbono que cae en él (en total 0,2 GtC/año). Solo el 5% llega al Atlántico o es enterrado en el fango de los afluentes. El río Amazonas descarga en el mar el 20% del agua dulce de todo el planeta y las mareas son tan fuertes que invierten el sentido de circulación en la desembocadura. La sequía del 2010 se calcula que liberó a la atmósfera más de 1,5 GtC, (igual a las emisiones de Estados Unidos), lo que convirtió al Amazonas en una fuente de carbono. Una sequía igual ocurrió en el 2005 en lo que se llamó "un evento único en 100 años". Este será un comportamiento normal en tiempos de calentamiento global: la aceleración de ocurrencia de los eventos extremos.

En 2000-2010, se perdieron cerca de 64 Mha de la superficie forestal mundial y un tercio fue en Sudamérica. Por ejemplo, en Brasil la tala de bosques para la agricultura genera el 75% de las emisiones de CO₂ totales del país. Las excepciones son Chile y Uruguay que presentan una tendencia positiva (absorción de CO₂), debido a los programas de plantación industrial a gran escala para la producción de madera. Estos nuevos bosques (incluida la Argentina) podrían contrarrestar la desaparición de bosques naturales, pero no es la mejor solución en términos ecológicos. En la Argentina los proyectos forestales se concentran en la margen del río Uruguay desde Misiones al Delta del Paraná. Son 1,2 Mha (4% del área usada en agricultura) que entregan el 95% de la madera que se usa en construcción y papel. Mueve cerca del 2% del PBI de la Argentina.

Investigaciones recientes muestran que la deforestación afecta la cantidad de lluvia y otros fenómenos climáticos. En un modelo de circulación general atmosférica del GLAS (*Goddard Laboratory Atmospheric Sciences*) se demostró que los grandes cambios en la cubierta vegetal afectan a la lluvia. Una menor cubierta vegetal podría disminuir las precipitaciones, debido a la correlación entre humedad del suelo, vegetación y energía solar que se necesita para convertir el agua en vapor. A los bosques se los llama "pulmones del planeta, pero en realidad son las glándulas sudoríparas". Al convertir agua del suelo en humedad, los bosques enfrían el aire. Un modelo predice que el desmonte del 40% del Amazonas puede reducir las lluvias en 12% en la estación húmeda y 21% en la seca. El efecto llegaría a la región pampeana con una reducción del 4% de lluvias.

Noruega será el primer país en ser "cero emisor" en el 2050, pero también es un importante productor petrolero en el Mar del Norte. ¿Cómo lo lograrán? Aquel país que sea un claro emisor de CO₂ podrá financiar proyectos en el exterior y contabilizarlos como reducciones propias. Suiza es un emisor neto debido a su alto consumo y se compromete a reducir sus emisiones actuales invirtiendo en proyectos de reforestación en el exterior. México se comprometió a reducir las emisiones del CO₂ desde el 2026 con recursos propios. Sin embargo,

es un gran emisor debido a la explotación petrolífera. México planea la "deforestación cero" en el 2030 y grandes proyectos de reforestación en las zonas ribereñas. Recuperará ambientes marinos y costeros (manglares y dunas) para capturar CO₂. También se comprometió a la gestión integrada del agua (agrícola, urbana e industrial).

Argentina: ley de Bosques. La Argentina perdió el 70% de los bosques nativos, quedando 31 Mha. En el 2007 se aprobó la Ley de Bosques, aunque desde aquella fecha hasta el 2012 se deforestaron casi 1 Mha, aunque la tasa de deforestación disminuyó un 20% (de 280 a 230 kha/año, miles de hectáreas al año). La provincia más afectada fue Santiago del Estero (400 kha). Desde su aprobación, las provincias de Chaco, Misiones y San Luis la deforestación disminuyó un 50%. En tanto, Santiago del Estero, Salta, Chaco y Córdoba autorizaron desmontes selectivos para ganadería intensiva en bosques clasificados, lo que resulta violatorio de la normativa nacional. En Santiago del Estero aumentaron los conflictos de tierras, muchos directamente vinculados con la deforestación. En Salta se ejecutaron permisos de desmontes otorgados en forma especulativa antes de la sanción de la ley de Bosques, y se realizaron cambios en la categoría a pedido del propietario.

Las organizaciones ambientalistas evaluaron en el 2013 una constante falta de presupuesto para la conservación y sustentabilidad de los bosques nativos. Afirmaban que los fondos eran 10 veces menos que lo establecido por la ley de Bosques. También advertían sobre la falta de eficiencia y transparencia en el uso de los recursos económicos recibidos por las provincias. En el 2014 la Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable señaló que entre el 2007 y 2013 se deforestaron 1,89 Mha, de los cuales 553 kha eran de bosque protegido que superaba a las 504 kha de lugares autorizados, a contramano de lo esperable.

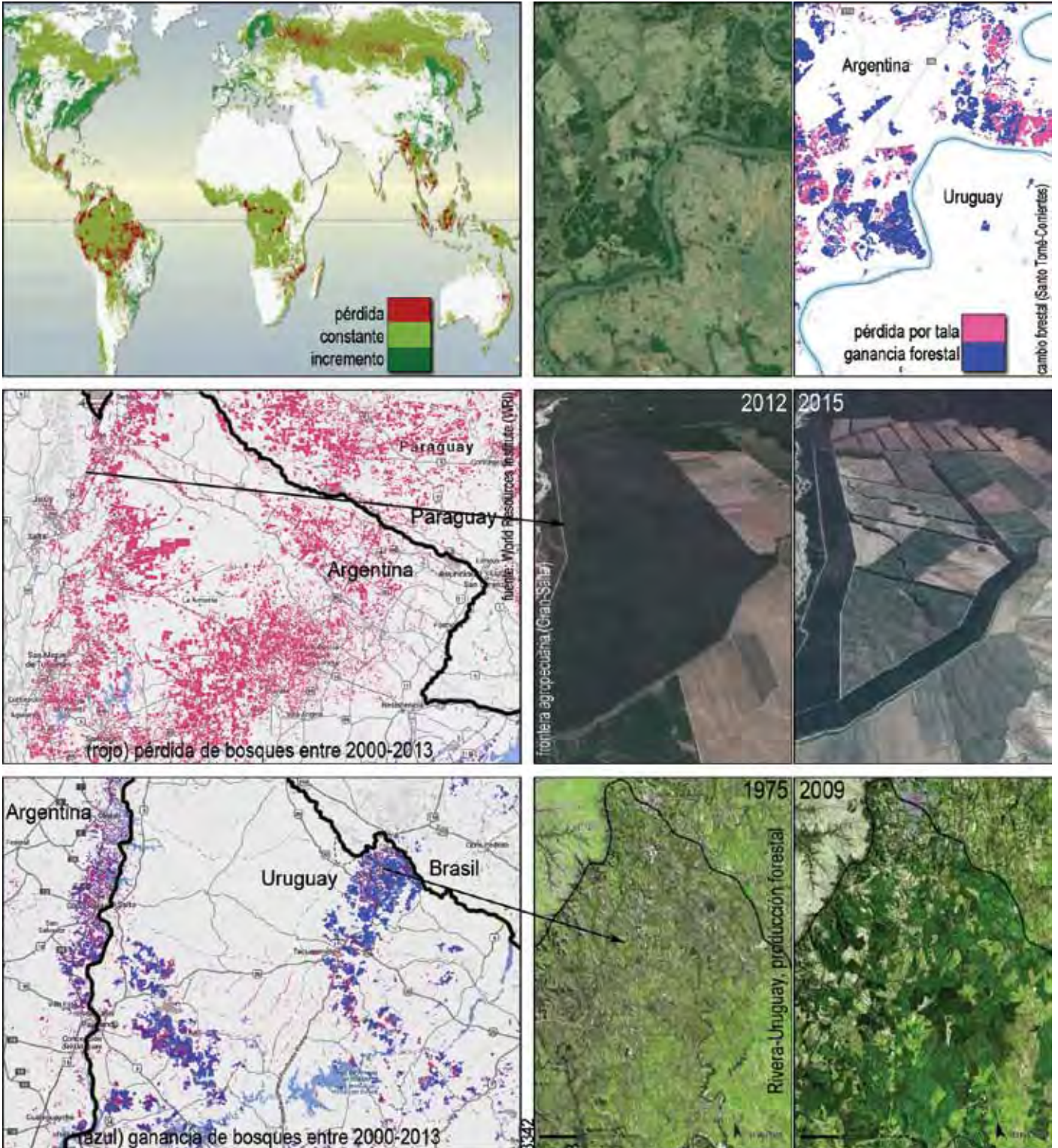
Bosques y fuego. El bosque natural y el fuego son parte del mismo sistema; el fuego tiene su origen junto con las plantas terrestres (450 Ma atrás). La proporción de oxígeno en la atmósfera es del 21%, pero en el Carbonífero-Pérmico (320-250 Ma) llegó a 30-35% lo que produjo incendios espontáneos aun en la vegetación húmeda. Fue un período de fuego fácil, que dio origen al carbón mineral explotado por la minería. Se dice que "el fuego puede ser un buen criado o un mal amo", porque ciertos biomas se regeneran gracias a incendios periódicos naturales. En estos casos son rápidos y queman solo las partes superficiales, sin afectar a los árboles (por ejemplo, PN El Palmar). El fuego es responsable en forma natural de la emisión de 1 GtC al año, comparado con 60 GtC emitidas por descomposición en el suelo.

El monte nativo de la zona serrana en Córdoba es el resultado de la adaptación al clima seco. Esta vegetación protege el suelo, pero los desmontes y sobrepastoreo erosionan y desertifican. Cuando los niveles de humedad del suelo caen por debajo del 30%, la vegetación se seca liberando etileno (muy combustible) y elevando el riesgo de incendio. Se trata de un fuego superficial que no pone en riesgo la regeneración casi inmediata. Pero, los colonos reprodujeron un entorno europeo mediante el desmonte de arbustos nativos y sembrando pinos. Bajo extrema sequía, los pinares se deshidratan y son un material combustible. Cuando el fuego llega a los pinares densos, eleva la temperatura de forma que se expande y quema el bosque a niveles profundos, comprometiendo su regeneración. Si bien es necesario un mayor conocimiento de la ecología del fuego, el mantenimiento de bosques nativos, el uso periódico de quemadas controladas y cortafuegos ayuda a controlar los incendios devastadores.

En la Patagonia, un estudio detallado de los anillos de crecimiento de 432 árboles en 42 sitios, permitió conocer la relación entre el clima seco y los incendios durante los últimos 500 años. Desde 1960 las condiciones variaron a un estado de baja presión atmosférica en la Antártida, disminución de la capa de ozono y aumento de temperatura y disminución de humedad en la Patagonia. Esto se correlaciona con un

aumento de los incendios en la Patagonia andina y la estepa. Si bien el hueco de ozono puede tender a cerrarse, el incremento del CO₂ en la atmósfera neutraliza el efecto, de forma que el clima seco y cálido en la Patagonia, junto con los incendios, se extenderá por este siglo.

Las lluvias de primavera pueden impulsar los incendios foresta-



3342. La frontera agrícola. La frontera del bosque se corre debido al incremento de áreas productivas (arriba-izquierda). En el período 2007-2013 cerca del 50% de las pérdidas de bosques en la Argentina fue en áreas prohibidas. El 80% del total es en el norte (33% en Santiago del Estero), en donde el valor de la tierra es muy bajo. En Corrientes (derecha) se observa una zona de explotación forestal con plantaciones nuevas superpuestas a zonas de cosecha de madera (*Eucalyptus*). La pérdida de bosques se indica en rojo (centro) y la ganancia en color azul (abajo). En Uruguay existen varias zonas donde se foresta con especies de rápido crecimiento para abastecer a la industria de pulpa de madera para papel (abajo-izquierda).

les de verano. La lluvia significa más vegetación que puede catalizar los incendios cuando se secan. Los anillos de árboles y las capas de carbón en el suelo muestran que los grandes incendios ocurren a pocos años de períodos húmedos. La oscilación húmedo-seco puede cambiar de acuerdo a la geografía, la elevación, el terreno y el

tipo de vegetación. Las gramíneas crecen y secan rápido, casi sin raíz, y toda su biomasa es inflamable, llena los espacios libres entre plantas y genera esta alfombra continua de combustible. El fuego podría llegar a difundir la hierba con la apertura de nuevas áreas a colonizar.

Los bosques (ii): la producción y conservación

Ciclo de carbono forestal. Los registros atmosféricos e inventarios forestales de los últimos 50 años, muestran que los bosques absorben cada vez más CO_2 . Los estudios experimentales y los modelos indican que se debe al aumento de CO_2 y el nitrógeno. Las actividades humanas emiten compuestos de nitrógeno que fertilizan los bosques hasta cientos de kilómetros de distancia. Otros factores climáticos parecen tener menos influencia, como la temperatura, precipitaciones y el cambio de estrategias de manejo de los bosques (dejar crecer los árboles durante más tiempo antes de cortarlos).

Es poco conocido el balance de absorción-emisión de CO_2 en los bosques y esto lleva a un desacuerdo: el balance a largo plazo (año 2100) ¿será negativo o positivo? El aumento de temperaturas y CO_2 podría aumentar la fotosíntesis por encima de la respiración en las plantas y absorber más carbono. Pero, si predomina la respiración la biosfera se convertirá en una fuente de carbono. Si los bosques siguen absorbiendo carbono conviene mantener los bosques maduros, pero si los bosques maduros se convierten en fuentes de carbono, lo mejor sería aumentar la cosecha de madera para mejorar la mitigación. La recolección reduciría las pérdidas por descomposición. Además, los árboles tienen influencia en la formación de nubes. Un experimento del CERN (*Conseil Européen Recherche Nuclear*) demostró que los vapores biogénicos emitidos por los árboles se oxidan en la atmósfera. Estos gases reaccionan con el ácido sulfúrico formando centros de condensación del vapor de agua (el origen de las nubes). De esta forma contribuyen a enfriar el clima.

La agroforestería. La CBD (*Convention Biological Diversity*) tiene como objetivo la conservación de la biodiversidad, el uso sustentable de sus componentes y la distribución equitativa de los beneficios derivados de los recursos genéticos. Este convenio define la agroforestería como un sistema productivo que integra árboles (silvicultura), sistema agropecuario (agricultura y ganadería) y pastos o forraje, en una misma unidad productiva. Los sistemas agroforestales existen desde el inicio de la agricultura y se estima que cerca de 1.200 millones de personas viven en sistemas de cultivo agroforestales. Básicamente se trata de personas bajo la línea de pobreza y que requieren entrenamiento para aprovechar los recursos del bosque. La propuesta para estas comunidades es la conservación de "servicios ecosistémicos", de forma que la conservación y el uso sustentable preserven la riqueza biológica que contienen.

La agroforestería intenta lograr la protección física del suelo; reducir los efectos sobre el microclima; el reciclaje de nutrientes y la diversificación de la producción. Las técnicas agroforestales optimizan la gestión de la tierra mediante las podas de leguminosas, la incorporación en el suelo y fertilización fosfatada. Sin embargo, la agroforestería no es valorada en su dimensión debido a que se encuentra a mitad de camino entre el ambiente y la agricultura. Solo la India (2014) definió una política integral con el objetivo de incrementar las áreas agroforestales.

El concepto clave de la agroforestería es el "árbol (leñoso) de uso múltiple". Sus funciones son la obtención de frutos, forraje, madera y leña. Además, provee fibras, medicinas, aceites, resinas, gomas, etc. Sirven para la captura de carbono, desecación del terreno, provisión de agua, fijación de nitrógeno, etc. Se trabaja con 3 componentes principales: silvicultura (es imprescindible el uso de árboles), agricultura y pastoril. Una vez definidos los componentes (leñoso, herbáceo y animal) se hace el ordenamiento territorial y de gestión para la explotación. La organización espacial vertical puede ser: mono-estrato (nivel único y uniforme, como en los setos vivos) o multi-estrato (varios niveles, como en los huertos caseros). La organización horizontal puede ser: mixta (dos o más especies compartiendo un espacio, como los árboles en tierras de cultivo) y zonal (cada especie en un espacio definido, como en el cultivo en callejones o parches forestales).

Una práctica interesante son los cultivos por tiras. Es una estrategia usada por granjeros para combatir la erosión del suelo. En este método, se plantan muchos cultivos juntos en tiras o pasillos entre árboles y arbustos. De esta forma, se provee sombra asegurando la retención de la humedad y se puede producir frutas, leña y forraje. En la provincia de Misiones se utilizaron plantaciones de yerba mate existentes por cerca de 80 años, a las cuales se le agregaron líneas de árboles intermedios. El objetivo era agregar la explotación de madera de calidad y aprovechar subsidios estatales (que nunca llegaron). Como resultado el rendimiento de yerba por hectárea se redujo (quizás por la competencia entre raíces) y una década después se retiraron los árboles. La conclusión de la experiencia es que las líneas de árboles fueron útiles como corta viento en los bordes de los campos productivos y que implantados en terrenos productivos puede ser un problema para el rendimiento agrícola intensivo.

Gestión forestal. Mientras la agroforestería combina el uso de árboles con la explotación agrícola y ganadera, la gestión forestal previene las pérdidas en los bosques mediante la extracción con "impacto reducido". Los sistemas de poda en la silvicultura dependen de los requerimientos de luz para la regeneración de diferentes especies. (1) Tala rasa: esta técnica se utiliza en especies que no soportan la sombra y requieren ser cortados todos los especímenes a la vez (parches internos). Las áreas de corte pueden ser replantadas o se dejan a la regeneración natural. Son especies pioneras porque son las primeras en establecerse (álamo, aliso) y por esto son árboles de la misma edad. (2) Clareo: se utiliza con especies tolerantes a la media sombra. Se elimina un grupo completo de árboles similares (de la misma edad) permitiendo que un nuevo soporte se desarrolle en el sotobosque. Este tipo de tala fomenta la proliferación de especies que requieren intensidad de luz solar. (3) Tala de impacto reducido (poda por selección): se utiliza para la mayoría de los bosques que toleran la sombra. Cada 20-30 años, los árboles comercializables maduros y en declive (enfermo o

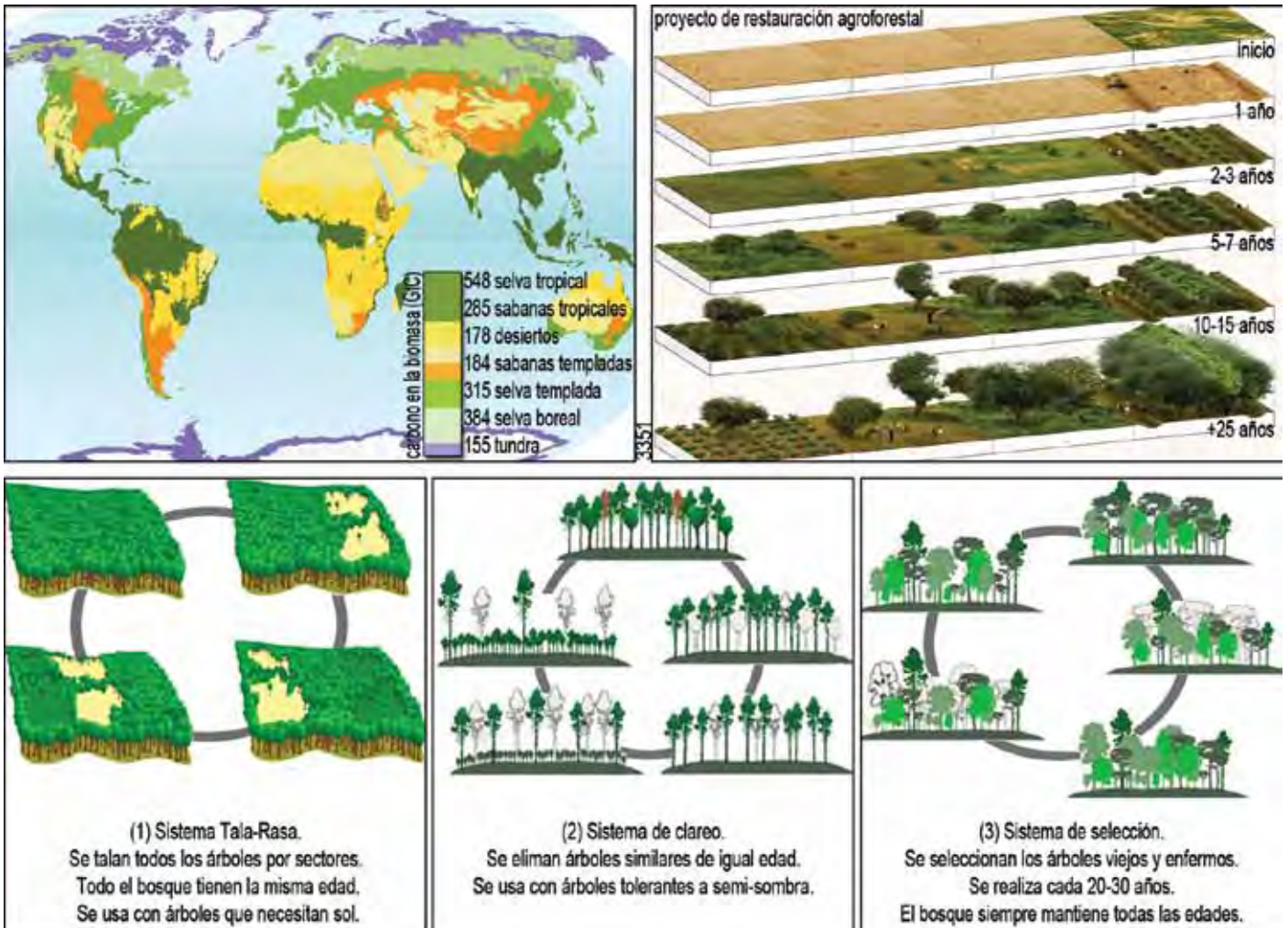
saludable) se cortan. La tala selectiva perpetúa un bosque frondoso de todas las edades y puede crear hábitats para animales y plantas que requieren cambios bruscos para prosperar.

El procedimiento para la tala de impacto reducido es el siguiente: (1) Se hace un inventario y se cartografía la cosecha. Se cuida de producir el mínimo impacto en el bosque, evitando la fragmentación. (2) Se establece un área de protección para las cuencas y zonas de amortiguación en los arroyos. (3) Las vías de acceso deben ser mínimas para evitar la circulación innecesaria. (3) Antes de la tala se deben cortar las plantas trepadoras y lianas y se debe cortar el árbol para que caiga en una dirección específica de mínimo daño. (4) Se evalúa el área con posterioridad para mejorar la gestión del bosque. El objetivo es mejorar la tasa de crecimiento, la calidad de los árboles restantes y que se establezcan nuevos renovales en el sotobosque. Para favorecer la biodiversidad forestal la relación entre el bosque de producción y protección debe estar balanceada. Siempre es mejor mantener las áreas protegidas contiguas en lugar de islas separadas; es mejor que la producción se mantenga en el borde y que el núcleo del área sea para la preservación. Es necesario complementar estas buenas prácticas evitando la introducción de especies invasoras y erradicar las exis-

tentes; facilitar la investigación y conocimiento ecológico del lugar y beneficiar la biodiversidad.

La tala selectiva es difundida por The Nature Conservancy bajo la denominación *Reduced Impact Logging*. A nivel mundial hay 865 Mha designadas como bosque productivo, pero la gestión sustentable es solo del 5%. En Indonesia se calculó que el 75% de las emisiones provienen de la degradación del bosque y 25% de la deforestación. La tala selectiva pretende producir sin deforestar, para eliminar las emisiones de los árboles que se pudren. La gestión forestal recibió críticas. Por ejemplo, en la Sierra Nevada (California), en 1988 una empresa forestal aplicó la tala selectiva prometiendo que no tendría impacto apreciable en el paisaje. Un ecologista grabó el sonido característico del paisaje. Un año más tarde, luego de la tala selectiva, las fotos no mostraban diferencias apreciables. Pero cuando se compararon los registros sonoros se encontró que las aves fueron prácticamente silenciadas.

Madera certificada. El FSC (*Forest Stewardship Council*), es una organización no-gubernamental de acreditación y certificación de madera. Fue fundada en 1993 en Canadá por varias organizaciones, entre ellas la WWF. Tiene sede en Bonn (Alemania) y cerca de 850 miembros.



3351. El carbono en los bosques y biomasa. Todo el carbono contenido en la biomasa se puede distribuir por ecosistemas y ponderar en unidades de GtC (arriba-izquierda). Para el 2100 un incremento de +4 °C (CO₂ en 650 ppm) podría producir un incremento en la masa forestal e incendios. Entre el 2003 y 2014, la vegetación aumentó 4 GtC debido a la forestación en China, la pérdida de tierras agropecuarias en la ex-URSS que vuelven a ser silvestres y la expansión de la frontera norte por reducción del permafrost. La agroforestería es un sistema de manejo de agricultura, ganadería y forestal que busca la integración armónica para mantener la biodiversidad natural y de cultivos (derecha). El manejo de bosques (abajo) tiene 3 formas de procedimientos para mejorar el estado mediante la tala. El plan de manejo permite retirar y usar los árboles que se encuentran en una etapa madura y con poca capacidad de crecimiento.

En 2012 tenía 165 Mha certificadas en 80 países. Es el más importante (pero no el único) sistema para promover el manejo sustentable de los bosques. La certificación FSC se usa como indicador de sustentabilidad cuando se adquiere madera o productos elaborados y se negó (por el momento) a certificar plantaciones de árboles transgénicos. La entidad certificadora inspecciona las prácticas, usos y el mantenimiento del recurso forestal. Por ejemplo, se verifica que la tala no sobrepasa la tasa de regeneración del bosque; las carreteras no causaron daños extras; el manejo del suelo y madera provee un ciclo adecuado para la vida silvestre; y se preservan los recursos del terreno, acuíferos y humanos. En 2009, el FSC inició un proyecto piloto con FLO (*Fairtrade International*) para ayudar a los productores comunitarios y de pequeña escala para que obtengan un precio justo por sus productos. También trabaja en colaboración la ISO (*International Standard Organization*) para los criterios de sustentabilidad en bioenergía, auditoría ambiental y etiquetado ecológico.

Entre las críticas que recibió FSC se encuentra el hecho que no tiene la autoridad política y nadie puede ser multado por no cumplir con sus reglamentos. A cambio, el prestigio de la etiqueta FSC es producto del poder de compra pública para regular el impacto ambiental de la deforestación. La etiqueta FSC "funciona" como incentivo para la gestión forestal responsable. Otra objeción se refiere a que FSC encubre malas prácticas forestales; participa activamente en las prácticas forestales de carbono y habrían certificaciones controvertidas. Se menciona la pérdida de credibilidad ante temas controversiales, como la etiqueta de "Madera Controlada" (madera mixta FSC y de otra procedencia), el sistema de Cadena de Custodia y la integridad del logo "Congo". En 2008, se denunciaron acreditaciones injustificadas, las cuales fueron estudiadas y retiradas. Se acusa a FSC de prácticas que son una forma de "lavado verde". Otras denuncias llevan a pensar en un mecanismo débil para otorgar las certificaciones y la falta de controles posteriores.

Una crítica importante a FSC fue que no se adecuaba para las pequeñas empresas y solo los grandes podían certificar. Esto dejaba afuera a muchas empresas de capitales nacionales en países periféricos. Para reducir esta crítica, el FSC creó el Slimf, que es un certificado para emprendimientos con un máximo de 100 ha (en 2012 el 8,7% de los certificados eran Slimf). Sin embargo, la certificación PEFC (*Programme Endorsement Forest Certification*), similar a FSC, nació orientada desde el inicio a pequeños productores. En la Argentina, la empresa Lipsia SA (Misiones) fue la primera que logró la Certificación FSC. Pero debido al tamaño pequeño de la mayoría de los productores, se generó la reciente CERFOAR (*Certificación Forestal Argentino*), que rige bajo Normas IRAM y se inspira en PEFC. El CERFOAR estimula a los pequeños y medianos productores para certificar y las empresas mesopotámicas son las primeras en adoptarlo. La principal traba que deben afrontar las Pymes forestales, es la de asociarse para lograr el salto de escala que les permita implementar una planificación de su producción de manera sustentable.

Forestería transgénica. La WWF emitió una recomendación de "deforestación y degradación forestal neta cero". Con objetivo en el 2020, propone compensar las pérdidas de superficie y de calidad forestal, de forma que el balance sea neutro. En el mismo documento, la WWF plantea los requerimientos para que una generación de árboles transgénicos pueda hacer pie en la forestación. Las características más deseadas son similares a la agricultura: tolerancia a herbicidas e insectos, rápido crecimiento y mejoramiento de los frutos. Para la aplicación se requiere demostrar la utilidad, el bajo riesgo y eliminar los cuestionamientos morales. El principio de precaución obliga a medir el impacto ambiental y social.

Una variante importante de los árboles transgénicos son los diseñados para combatir plagas y enfermedades. Por ejemplo, en Hawaii en 1997 se produjo la pérdida del 40% de papayas por un virus. En el 2009 se liberó una papaya-GMO que resiste al virus y para el 2014 la producción se recuperó al nivel previo. En China, un tipo de escarabajo desbastó 7 Mha de álamos. En el 2014 ya existían 500 ha de una variedad de álamo-GMO con genes para controlar al escarabajo. En 2007, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) desreguló un tipo de ciruelo-GMO diseñado para resistir al virus de la viruela del ciruelo mediante la introducción de genes derivados de virus. Otra enfermedad llamada chancro del castaño afecta a los bosques de castaño americano y es causada por el ácido oxálico. Mediante la transferencia de un gen de trigo que codifica el oxalato oxidasa se logró la resistencia de los castaños. Una enfermedad en los cítricos causada por una bacteria y propagada por insectos (psílidos) se registró en los años '70. La enfermedad convierte las naranjas en frutos verdes, deformes y de sabor amargo. El 80% de los cítricos de la Florida están infectados y en declive. Un cítrico-GMO lleva un gen de espinaca para combatir las bacterias y se espera esté liberado antes del 2020.

Sin embargo, pueden existir problemas. En Tailandia se plantaron árboles de papaya-GMO pero luego se comprobó que producen una proteína que genera alergia en los humanos. En el caso de Hawaii, estos árboles transgénicos polinizaron a los silvestres y orgánicos, de forma que resulta imposible saber si el fruto es originario. No se dispone de control sobre la dispersión del polen por viento o insectos y de semillas por aves o mamíferos; pudiendo impactar en la ecología nativa a cientos de kilómetros de distancia. En India se encontró polen de pinos a 600 km de distancia y en Canadá a 1.200 km proveniente de Estados Unidos. Lo cual pasa a ser un problema internacional. El *Pinus taeda* crece en 60 Mha en el sur de Estados Unidos y entrega el 15% de la madera del mundo. Se pudo recolectar polen a 2.000 m de altura mediante un helicóptero y a 40 km de la costa en un ferry. El riesgo de propagación es evidente. En China se seleccionó el álamo transgénico que produce menor cantidad de lignina, son más resistente a las plagas y más fácil de procesar. Pero se advirtió que pueden producir la desertificación del suelo, el agotamiento del agua y elevar los riesgos de incendios. Además, pueden competir en forma desleal con las especies silvestres. En este caso se apuesta a la mitigación, que consiste en controlar los desbordes.

El caso: "Eucalyptus-GMO". En Brasil se comienza a trabajar con una variedad de *Eucalyptus* transgénico que lleva un gen tomado de una mala hierba. Esto le permite un crecimiento rápido, por lo que acumula masa 20-30% más rápido y en 5 años llega a los 25 m de altura, en lugar de tardar 7 años como la especie tradicional. Está diseñado por la empresa FuturaGene (Israel) para ser usado en plantaciones de producción de papel. Se insertó un gen de la planta *Arabidopsis* que genera una proteína que facilita la expansión de la pared celular y aumenta la cantidad de celulosa acumulada (mayor crecimiento). Los árboles GMO generan cuestionamientos, como el resto de los GMO. Como los árboles son perennes y viven más tiempo que los GMO agrícolas, pueden ser potencialmente más peligrosos a largo plazo. Podrían afectar a los organismos silvestres debido a la propagación por polen o semillas. La defensa dice que el *Eucalyptus* es un árbol originario de Australia y no tiene organismos silvestres en Brasil. Además aseguran que el *Eucalyptus* no suele expandirse en terrenos vecinos mediante renovales y no es una amenaza al resto del ambiente. Los estudios indican que no hay peligro para la miel producida desde flores de estos árboles.

un planeta

En algunas décadas, Brasil se convirtió en el mayor productor de *Eucalyptus* y está pronto a producir en masa el *Eucalyptus*-GMO. Los ambientalistas dicen que el desmonte para plantar árboles monocultivo genera un "desierto-verde". Pero en marzo de 2015 pasaron a la acción cuando un millar de mujeres destruyeron invernaderos en San Pablo de FuturaGene bajo el argumento que esta variedad consume más agua debido al rápido crecimiento.

En el sur de Estados Unidos se pretende reemplazar el pino autóctono por el *Eucalyptus* para formar bosques que serían usados en biocombustibles. El pino es un pobre competidor con el *Eucalyptus* en la generación de biomasa. En este caso la transgénesis (empresa ArborGen) apunta a producir un *Eucalyptus* resistente a la congelación del hemisferio norte. Para evitar la propagación horizontal de los genes se propuso que los árboles sean cosechados dentro de los 6 meses del inicio de la producción de flores, que es mucho antes de lo que quiere la industria forestal para lograr un mayor rendimiento.

Energía desde biomasa. Los restos forestales o agrícolas pueden ser usados para generar calor y electricidad en forma descentralizada. Es de especial interés para regiones periféricas. El balance de

CO₂ es casi neutro (se emite lo mismo que se absorbe) siempre que se usen restos y no se realice una deforestación adicional o se destinen terrenos a la producción de "plantas energéticas" (biocombustibles). La clave es que sea sustentable y compatible con la producción de alimentos y la protección de la naturaleza. Por ejemplo, las Islas Galápagos adoptaron el objetivo de abastecerse de energías renovables. Una alternativa adoptada es transformar los generadores diesel para que funcionen con aceite vegetal, obtenido desde frutos de plantas nativas y cosechados por los agricultores. Es un ingreso adicional para los agricultores y una vuelta hacia energías renovables.

En Alemania se utilizan restos de madera y otros vegetales en la producción de calor y electricidad. Una empresa decidió importar madera desde Liberia (África) para usarla como biomasa ante la escasez de madera local. Los problemas involucrados son: (1) el transporte mediante barco debe tener baja emisión de CO₂ para ofrecer un balance tolerable; (2) la biomasa no debe provenir de desmontes o mediante el empobrecimiento del suelo (agricultura); (3) no debe privarse a las comunidades locales de la madera para consumo propio; (4) no debe usarse mano de obra infantil o mal remunerada. En paralelo, se debe educar a las comunidades locales para usar sistemas de quema de



3352. Desde la madera al papel. La madera debe ser reciclada para mantener el carbono sin ser liberado a la atmósfera (arriba-izquierda). Los certificados FSC y PEFC (derecha) indican que se trata de madera que no proviene de bosques nativos y es producido en forma sustentable. La producción de pulpa de celulosa y papel (abajo-izquierda) son muy cuestionadas por el peligro de contaminación ambiental. En el ciclo de producción se produce la pasta y luego se estira en papel; además se utiliza una parte de papel reciclado. No se muestran los ciclos de procesamiento de residuos; purificación del agua; filtrado del humo y producción de electricidad desde biomasa. Se muestra la planta de producción (derecha) en Fray Bentos (Uruguay) motivo de una controversia entre naciones.

madera más eficientes y cocinas solares, dado que están en el ecuador del planeta. Según esta propuesta el comercio de madera no debería ser diferente al de granos y frutas.

Chile es uno de los 4 mayores exportadores de chips o pellets (madera molida en astillas). Se calcula que el 60% de los chips se usan para papel y el 40% para energía. El uso para pulpa de celulosa requiere mayor homogeneidad y humedad estable en los chips; mientras que el uso como biomasa admite la incorporación de corteza o contaminantes. Es el mayor exportador para Japón a pesar del largo recorrido del flete y compite por la calidad del producto frente a otros proveedores del sudeste de Asia. La principal fuente de madera en Chile es el monocultivo de *Eucalyptus* y pino, lo cual lleva a una de las críticas que recibe este tipo de explotación. Por ejemplo, la empresa Comaco es la mayor exportadora a Japón y tiene certificación FSC de madera responsable. Además tiene bosques nativos sobre los cuales aplica procesos de silvicultura: raleo selectivo de árboles enfermos, corta sanitaria, selección de árboles para semillas, preparación de terrenos para regeneración, mantenimiento de caminos para transporte y cortafuegos y vigilancia de tala ilegal. En tanto, algunas organizaciones ecologistas acusan a ésta y otras empresas forestales de plantar en humedales (vega o mallín) de forma que se resecan, lo que reduce la provisión de agua a las comunidades vecinas. Además se debe contabilizar la pérdida de biodiversidad nativa y las consecuencias sobre la apicultura. Australia, que supo ser el principal proveedor mundial de chip de *Eucalyptus*, está abandonando su cultivo a cambio de productos agrícolas que resultan más rendidores.

Fábricas de papel. La producción de papel consta de 2 etapas: obtención de pasta de celulosa y la estirado del papel. La materia prima es 95% pulpa de madera y 5% reciclados de lino, algodón y papel viejo. La pulpa se logra mediante: descortezamiento de los troncos; triturado para obtener pasta y blanqueo para separar la celulosa de la lignina. La celulosa es un hidrato de carbono formado por unidades de glucosa (similar al algodón). La lignina es similar pero rígida y oscura. El blanqueo de la lignina requiere compuestos que son contaminantes.

Cerca de 200 productos químicos se usan para romper la fibra de los árboles. La producción mediante árboles GMO puede reducir la cantidad de estos productos. El problema industrial es romper la lignina, un polímero complejo que forma parte de las paredes celulares en las plantas. Actualmente se hace mediante el proceso Kraft basado

en componentes químicos y temperatura. Pero, en un tipo de GMO en particular, se usan genes que modifican el ácido ferúlico en los árboles jóvenes de álamos, lo que crea puntos débiles en la lignina que se rompen a solo 100 °C. Se informó que los árboles continúan siendo fuertes y de crecimiento normal. Se espera aplicar la misma técnicas para plantas que se usarían en biocombustibles.

El impacto ambiental denunciado para la industria de celulosa incluye: (1) El consumo de madera como un peligro para la tala de bosques nativos. Pero, hoy día se abastece de plantaciones industriales. (2) El cultivo de monoproducto como las plantaciones de pino o *Eucalyptus* con riesgo para la biodiversidad; (3) La liberación de CO₂ debido a la quema de hojas y ramas. Aunque antes se absorbió el CO₂ durante la etapa de crecimiento del bosque; (4) Elevado consumo de agua para el procesado. Se requieren 60 m³ de agua por tonelada de pasta de celulosa. (5) Las emisiones atmosféricas de óxidos de azufre, hollín, compuestos clorados y orgánicos; (6) También se objetan los vertidos al río: partículas sólidas; sustancias que consumen oxígeno; colorantes; nutrientes orgánicos; sustancias tóxicas; cambio del pH; aumento de la temperatura del agua; etc.

Argentina: ex-Botnia. El conflicto por la pastera de Fray Bentos (Uruguay) se basa en antecedentes de otras plantas en el mundo. En la Argentina hay una decena de pasteras ubicadas sobre el río Paraná. La más antigua opera desde 1920 en Misiones. Pero la pastera de Uruguay procesa más pasta que todas las argentinas en conjunto. Fue la más grande y moderna del mundo al momento de la puesta en servicio (2005). Desde Gualeguaychú se argumenta que se apostó por el turismo y la construcción de una pastera en la orilla opuesta del río Uruguay puede generar olores, vertidos, e impacto visual que degrada la calidad de la oferta. Desde la otra orilla, la industria asegura que el proceso de producción recoge los gases que producen olores y los quemar. A cambio, acusan a la Argentina de contaminar el río Uruguay con las corrientes de agroquímicos desde la agricultura. La Argentina argumentó que los estudios de impacto ambiental por la pastera estaban inconclusos y que debería hacerlos una entidad independiente de las partes en conflicto. Uruguay sostuvo lo contrario y acusó a la Argentina por los cortes de rutas en los puentes internacionales. El caso finalizó en el 2010 con un fallo del Tribunal Internacional de La Haya. Como en tantos otros diferendos, los controles de contaminación que hacen ambos gobiernos en el río están "contaminados" por intereses políticos y económicos, donde el ambiente funciona como rehén.

Los bosques (iii): nativos versus exóticos

La reforestación. Se estima que cerca de 500 Mha son aptas para la restauración forestal a nivel global. Pueden incluir áreas protegidas nativas; plantaciones comerciales para explotación; franjas ribereñas de amortiguación y desarrollos comunitarios con agroforestería. Pero, ¿con qué reforestar? Una especie nativa no está limitada a un país, sino a la zona ecológica o al ambiente. La polémica entre lo nativo y exótico tiene diferentes grados de conflictividad en temas distintos (arbustos o plantas ornamentales; árboles; plantas para alimentación y animales). El fervor en la discusión es algo menor en cuanto al ganado, aves de corral o mascotas, que son normalmente exóticos en América. Los conservacionistas consideran un error la introducción de especies

exóticas y cuando éstas tienen éxito, se las llama "invasivas" y para los productores son "plagas".

El bosque nativo se define como un área superior a 1 ha con más de 10 árboles/ha que alcanzan los 10 m de altura. Para las plantaciones de árboles (bosques exóticos) la mayoría de la polémica se centra en dos géneros: el género *Pinus* (con 110 especies), y *Eucalyptus* (700 especies). Uno de los pinos es el ser vivo más longevo: *Pinus longaeva* puede llegar a los 3.000 años de edad, pero se trata de casi todas células muertas, las células más viejas vivas son de 100 años. Ecuador en 2015 logró un record Guinness cuando en un día se juntaron 44.000 voluntarios en distintos lu-

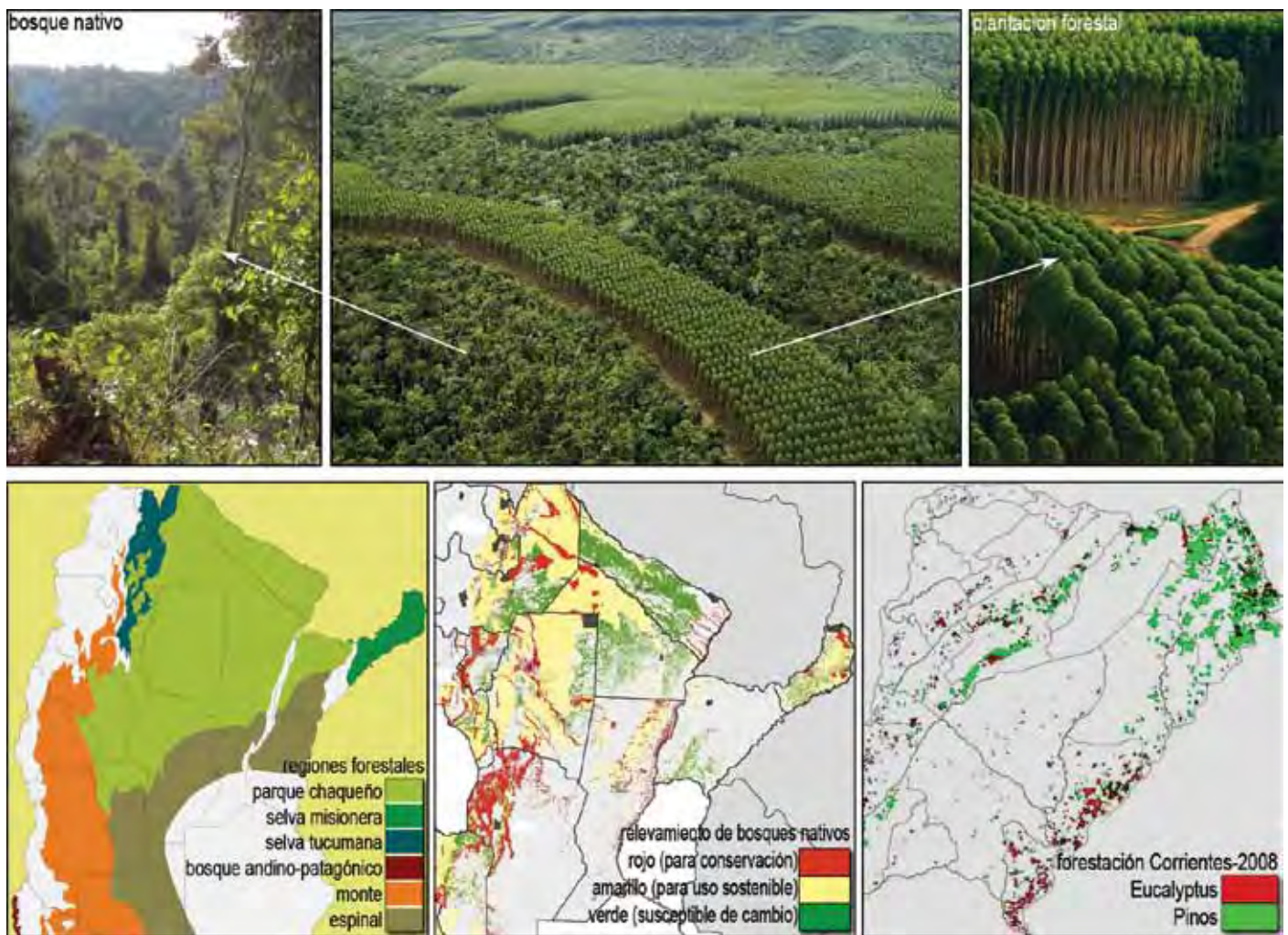
gares para plantar 570.000 plantas de 179 especies. Se denominó "siembratón" y tiene como objetivo la preservación y restauración forestal. El objetivo de Ecuador es que en 2017 se llegue a una tasa de deforestación cero (hectáreas reforestadas superior a hectáreas perdidas).

(1) Biodiversidad reducida. Los defensores de las nativas señalan la pérdida de biodiversidad. Las exóticas se convierten en un "desierto biológico", porque la fauna nativa no las usa. El capital genético se reduce, por ser un monocultivo. Algunas especies pueden ser invasoras y desplazar a nativas en los campos aledaños (pinos). En cambio, los árboles nativos son aceptados por la fauna local; constituyen un eslabón conocido para procesos naturales como polinización por aves, insectos, mamíferos, dispersión de semillas, relación con epífitas y con la fauna del suelo, así como el reciclaje de nutrimentos.

En Esteros de Iberá, el *Pinus elliottii* prospera sin resistencia ya que proviene de Florida, una zona muy similar. El pino se propaga fuera de los campos de cultivo e invade las áreas silvestres de los este-

ros. Incluso se ven renovales en los embalsados flotantes. Una posible solución es aplicar la responsabilidad empresarial en contener los escapes de ejemplares y la prohibición del uso fuera de plantaciones densas (rompe vientos o aplicaciones ornamentales). En Iberá se suma el problema de los chanchos salvajes, que provienen de chanchos abandonados y que luego de algunas generaciones toman las costumbres de los jabalíes europeos. Estos chanchos salvajes generan varios problemas, entre ellos la propagación de enfermedades a las especies nativas. También los búfalos (originarios de Asia) se escapan y forman rebaños cimarrones que resultan en un problema al alterar la calidad de las aguas de los humedales. En la región andino-patagónica el pino ponderosa (87% de las 4 variantes de pinos) es plantado en forestaciones y escapan con facilidad al control. Al costado de las rutas (Villa La Angostura) se observa el desborde del bosque con renovales de pinos, junto a la retama y rosa mosqueta (dos arbustos introducidos).

(2) Degradación del suelo. Se menciona que los árboles exóticos secan o esterilizan el suelo debido a efectos alelopáticos (un organismo



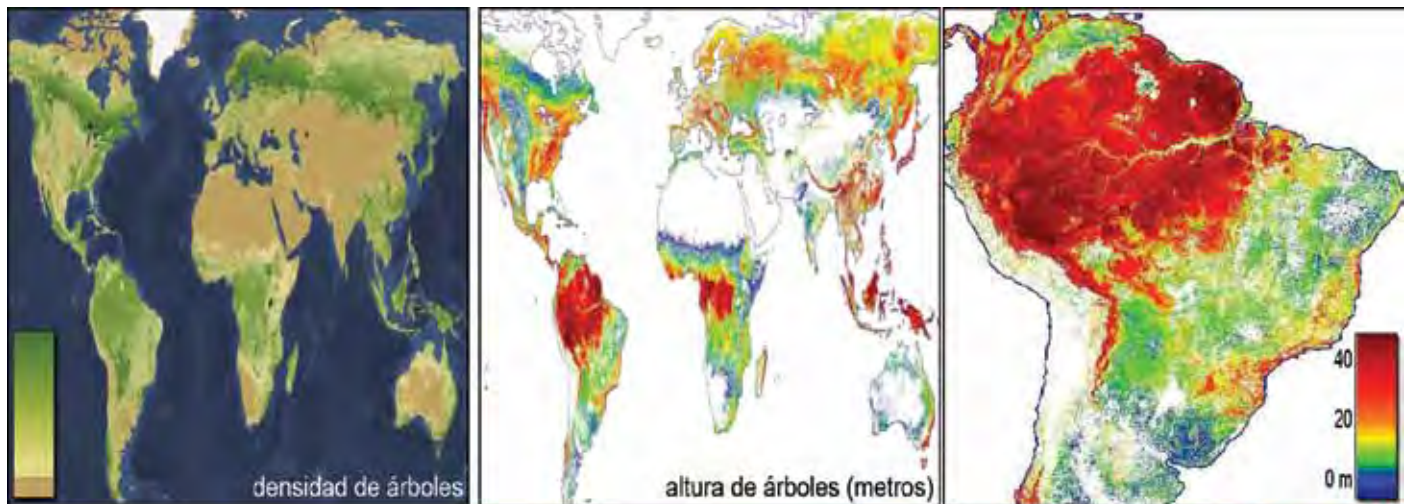
3361. Bosques nativos y forestados. El centro de la polémica entre especies nativas y exóticas son el *Eucalyptus* y *Pinus* (arriba). Las exóticas se caracterizan por ser un monocultivo con mucha regularidad y simetría entre los especímenes, condiciones difíciles de igualar por las nativas. Las regiones forestales más importantes son el parque chaqueño y el espinal (abajo-izquierda). Los bosques nativos se los clasifica en 3 categorías: para conservación, para manejo sustentable y susceptible de cambio en el uso del suelo (centro). Por ejemplo, la provincia de Corrientes es la más forestada (derecha). La superficie de bosque nativos en la Argentina es de 53 Mha (datos a 2014), con 10 Mha en categoría roja; 32 Mha en amarilla y 11 Mha en verde. La pérdida de bosques nativos se redujo de 720 kha en 2006-07 a 189 kha en 2013-14. Las plantaciones forestales son de 1,1 Mha, donde el 80% está en el NEA. El uso de la madera es de 46% pulpa y papel, 46% en aserraderos y 8% para combustible (energía y calor). Es una producción carbono neutral, reciclable y renovable, reemplaza en la construcción a la minería, tiene disponibles sistemas de certificación CERFOAR (FSC y PEFC) y no compete con bosques nativos o agriculturas. La provincia de Corrientes tiene 450 kha forestadas, con una producción de 10 Mt de madera anual y un potencial de 2 Mha.

produce compuestos que afectan a los otros). En los pinos se argumenta que acidifican el terreno y que nada crece por debajo. Para otros, esto es discutible ya que depende del manejo (raleo, podas), para permitir que llegue más luz y haya menos competencia por el agua y nutrientes. Ciertos estudios aseguran que el uso de Eucalyptus en campos exhaustos por el uso de la agricultura permite generar un sotobosque de plantas nativas cuyas semillas son esparcidas por las aves. Se observa también en la vegetación que nace bajo el amparo de los alambrados de campos, donde las aves se posan y defecan las semillas.

Otro problema es el consumo de agua. Los bosques que se implantan para explotación industrial en pastizales "devoran" el agua de lluvia. En la Patagonia se midió que las plantaciones de 350-500 pinos por hectárea transpiran 2-3 mm de agua por día. En Chile midieron que la transpiración y evaporación consumen el 95% de las lluvias, por lo que no dejan agua hacia el exterior. Además, los pinos toman nutrientes del suelo lo que reduce la fertilidad del campo luego de la cosecha de la plantación.

(3) Silvicultura conocida. Las exóticas tienen dos ventajas importantes: son conocidas y de alta producción y uniformidad. Se las conoce muy bien desde el punto de vista de aprovechamiento industrial. Para casi todas las especies hay datos precisos sobre condiciones de las semillas certificadas, rendimientos esperados, normas para raleo y poda, lo que resulta muy atractivo para grandes plantaciones. Es fácil mantener líneas puras y evitar híbridos con especies o variedades botánicamente parecidas. Las especies nativas son bien conocidas como árboles de sombra, cercos vivos, árboles para leña, en huertos caseros o líneas de árboles en las orillas de propiedades. Pero, puede ser difícil conseguir semillas seleccionadas; hay menor conocimiento de la silvicultura industrial y de los rendimientos esperados; y existe resistencia a plantarlas en bosques por haber sido abundantes y de bajo precio.

(4) Alta eficiencia. Muchas especies de exóticos se adaptan a extremos de temperaturas, alturas y humedades; lo cual les confiere gran interés. Pueden hacerlo mejor que en su lugar de origen porque sólo se trajeron las semillas, sin las plagas. Algunas especies crecen



3362. Los bosques nativos. La densidad de árboles en los bosques (arriba-izquierda) y la altura de los árboles (derecha) son indicadores de la abundancia y riqueza de los bosques nativos y la acumulación de carbono. En el 2015 se publicó el resultado del conteo satelital de la población de árboles en el planeta. Se tomaron 14 biomas y se dividió la superficie en pixeles de 1 km² para obtener más de 400.000 puntos. El conteo desde fotografías satelitales se constató en campo y se llegó a 3.040 mil millones (3 billones) de árboles. Son 415 árboles por humano y en disminución. También se estimó que el valor anterior a la civilización humana era de 5,6 billones; que anualmente se plantan 5.000 millones y que se talan 15.000 millones. Extendiendo la tasa actual de pérdida se consumirían todos los bosques en 300 años. Los bosques más densos llegan a 1.500 árboles por hectárea. En el 2013 se había calculado que el Amazonas tenía 400.000 millones. Un caso de recuperación natural se observa en el Monte St Helens que sufriera la explosión volcánica en 1980 y hoy día muestra una importante recuperación del área forestal (abajo-izquierda). En otro ejemplo (derecha) se observa la altura de los árboles nativos en zonas intervenidas por casas y una línea de alta tensión que cruza en diagonal.

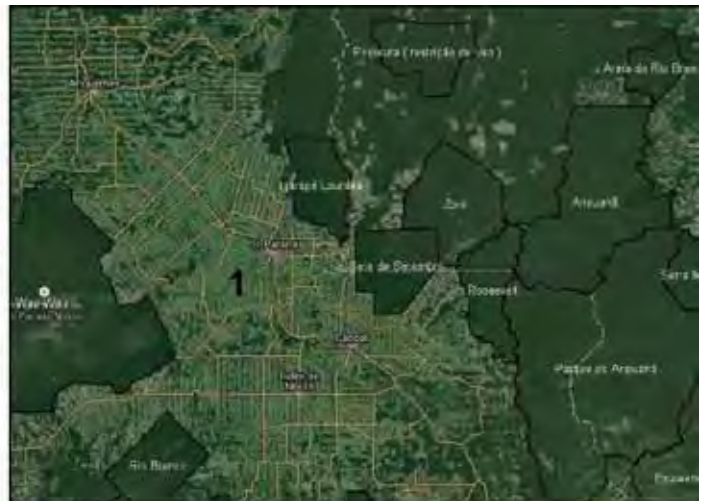
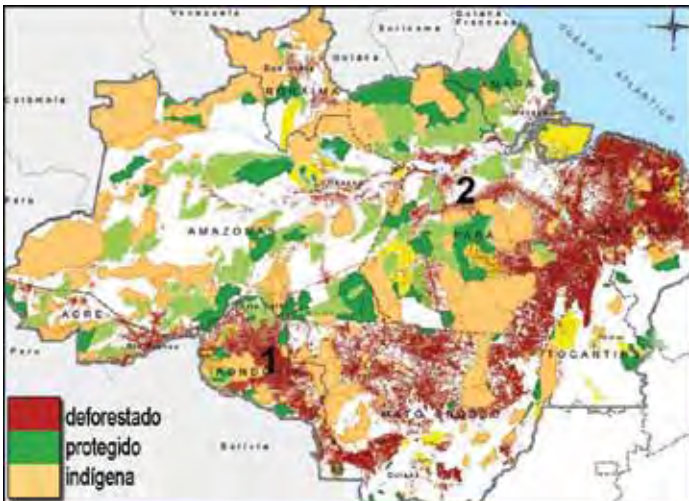
más rápido que muchas nativas y retoñan vigorosamente cuando se cosechan. Así, permiten una segunda rotación basada en el mejor retoño (*Eucalyptus*). Pueden crecer en suelos pobres (*Pinus* y *Acacia*) o con cierta salinidad (*Casuarina*) debido a que las raíces absorben nutrientes mediante bacterias y hongos. Se trata de micorriza (simbiosis) entre las raíces y el hongo *Rhizobium*. Las plantaciones de nativas no pueden competir con las exóticas en cuanto a rapidez de crecimiento (producción de biomasa), forma del tronco (uniformidad), capacidad de retoño (regeneración), capacidad de crecer en suelos muy pobres o producción de fibra larga para pulpa y papel (*Pinus*).

En la Argentina el árbol del paraíso (*Melia azedarach*) se adaptó en forma eficiente porque crece rápido; provee plaguicidas tóxicos; las hojas tienen virtudes antisépticas, antiviral y son funguicidas; el aceite es espermicida; crece en terrenos semiáridos y muchas aves comen los frutos aunque es un árbol exótico. Se lo observa en ciudades y en cascos de estancias, pero no se usó en forma masiva.

En suma. Resulta inadmisibles que se deforeste el bosque natural (primario o secundario) para plantar árboles exóticos (incluido los nativos). Es discutible si un rastrojo debe limpiarse para reforestar, ya que cuando se convirtió en bosque secundario (10 m de altura) po-

dría considerarse su manejo forestal. La plantación de exóticas para producir madera es un medio eficaz para reducir la presión sobre los bosques primarios (nativos). Las plantaciones industriales aumentarán ya que el abastecimiento desde bosques naturales primarios llegó a su fin. El futuro de la madera está en el buen manejo de los bosques secundarios y plantaciones de nativas y exóticas. Parece bueno favorecer especies nativas solo si se tiene un buen conocimiento sobre su cultivo y fuentes de semillas seleccionadas. Para un emprendimiento de escasos recursos debe seleccionarse la especie con mejores resultados económicos, para asegurar la supervivencia económica. Deben preferirse las especies nativas en reforestación urbana ya que tienen un valor cultural, educativo y sentimental.

Conservación de lo nativo. Las Naciones Unidas generaron el programa REDD+ (*Reducing Emissions from Deforestation and Degradation Plus*) para crear un valor financiero del carbono acumulado en los bosques. El objetivo es reducir la emisiones por deforestación (17-29% del total), la gestión sustentable de los bosques y el aumento de reservas forestales. Este programa se inició en 2007 en la reunión COP13 del IPCC. Entre los problemas de implementación se tienen: cómo hacer la valuación y cómo pagar a los países por mantener la acumulación de carbono en los bosques; la forma de monitoreo sa-



3363. Los bosques del Amazonas. La deforestación en Brasil hasta 2010 forma un arco en la región este-sur (arriba-izquierda). Los territorios indígenas (amarillo) son islas de protección que muestra el papel vital de los pueblos originarios como guardianes de la selva. En la fotografía satelital (derecha) se identifican algunos territorios indígenas y el grado de conservación. Greenpeace detectó los lugares de extracción ilegal de madera y siguió a camiones de transporte para efectuar las denuncias (abajo-izquierda). Es parte de su campaña de protección de los bosques del Amazonas. La WWF muestra las áreas de mayor interés para la conservación (derecha).

telital y la conversión de superficie afectada en carbono retenido; el alcance de las subvenciones (por proyecto o por país); la línea de base a partir de la cual se comienza a medir las mejoras (desde un valor o por una tendencia); el impacto social sobre los trabajadores que son desplazados por la conservación; la permanencia del carbono en los bosques y las pérdidas debido a fuego o a causas humanas.

Por ejemplo, el territorio indígena Zoró (al sur del Amazonas) era usado en la estación seca para obtener teca y caoba para muebles de lujo. Los indígenas obtenían poco dinero escoltando ilegalmente a los camiones madereros. El jefe del pueblo recuerda que "con los árboles, los pájaros se fueron en silencio, los animales y los peces se retiraron, y nuestro pueblo perdió su cultura". Así que optaron por renunciar a la explotación forestal y adherir a REDD, obteniendo bonos de carbono para la conservación del bosque y la explotación de productos forestales no madereros, como las nueces de Brasil y las bayas de acai, la pesca sustentable y el ecoturismo. Pero en la vecina comunidad Igarapé Lourdes el problema es otro. Existen incursiones ilegales pero para aplicar a REDD tendrán que demostrar que su bosque está bajo amenaza y que cumplirán con el concepto de "adicionalidad". Para el líder indígena el requisito de adicionalidad es uno de los grandes defectos de REDD. Creada para prevenir lavado verde y hacer REDD más riguroso, su aplicación castiga a las comunidades que han sido buenos administradores de la tierra. Debido a que no tenían deforestación, ahora no tienen acceso a financiamiento REDD.

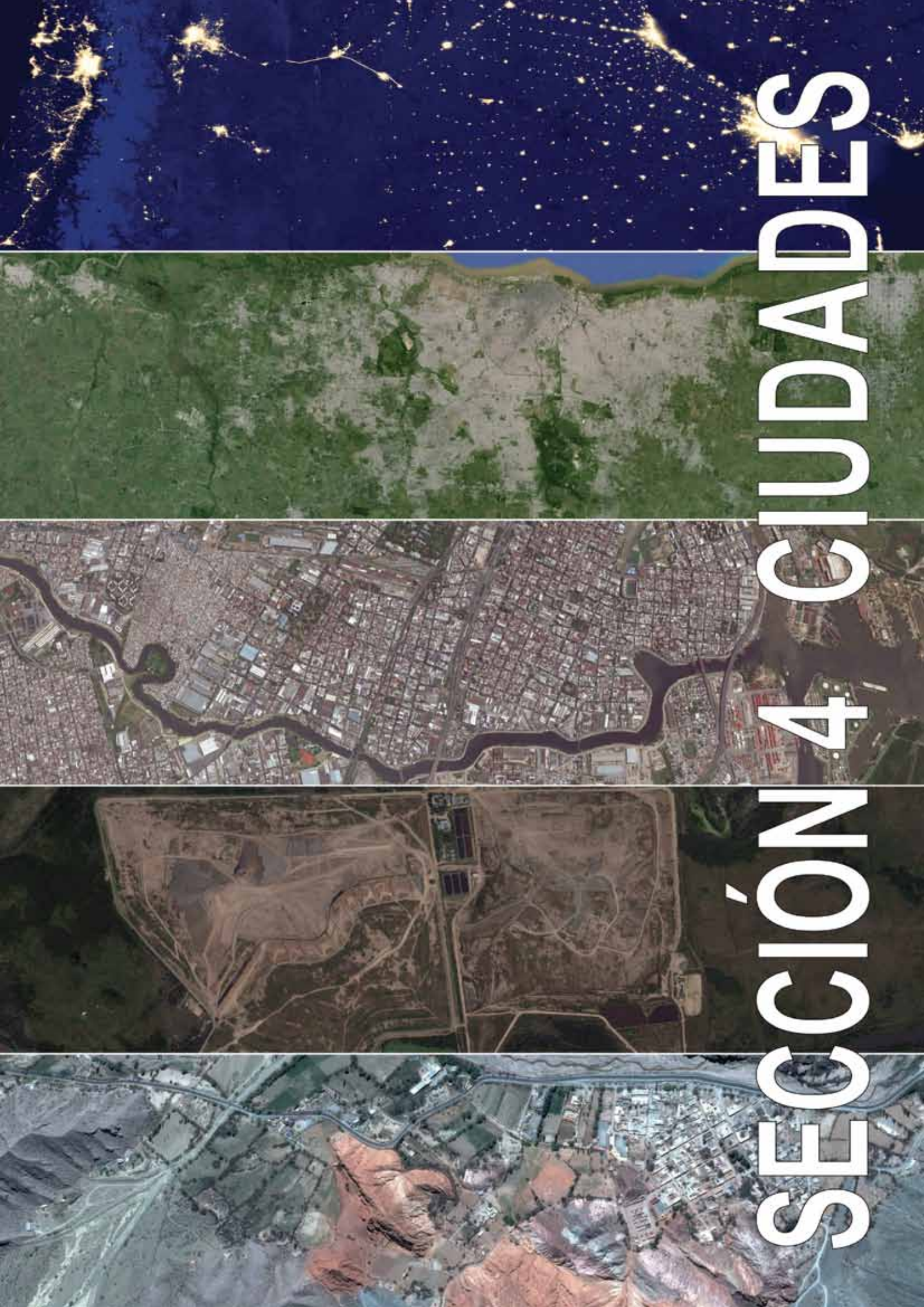
Otro caso es en Colombia donde se generó una oportunidad de conservación de la selva vecina al Darién (norte en la frontera con Panamá). En la época de la lucha entre la guerrilla, los paramilitares y el gobierno, las selvas fueron abandonadas por peligrosas. Pero, la paz está poniendo en riesgo de deforestación esos territorios. El Proyecto Cocomasur (13.500 ha) se generó en el 2010 para vender bonos del programa REDD+. En el 2013 tenía vendidos créditos de 22.000 tC, logrando salvar una población de 215.000 árboles y creando empleo para la comunidad.

El GCF (*Green Climate Fund*) puede ser utilizado para pagar esta conservación de carbono, e involucra acciones de la FAO, UNDP y Banco Mundial. Una crítica que se realizó se refiere a que no distingue entre tipos de bosques y tanto podría ser un bosque nativo con su ecosistema como plantaciones de monocultivos de especies exóticas, cultivos agrícolas de árboles o especies no-arbóreas como la palma o

bambú. En estos casos el interés es comercial y no de conservación. Otro temor es el aprovechamiento de las comunidades indígenas. También puede usarse el mercado voluntario de Bonos de Carbono. Esta alternativa, que evoluciona lentamente, entregó un balance hasta el 2013: se vendieron bonos por 170 MtC, con un valor de 4.000 Mus\$, lo que da un promedio de 24 us\$/tC. Pero, mientras en el 2012 se negociaron 20 MtC, en el 2013 fueron 15 MtC. Este mercado permite a empresas y particulares comprometidos con el ambiente adquirir bonos que son usados para preservar tierras. En el 2014, las perspectivas de los mercados de bonos no eran alentadoras y Europa tenía el 50% del mercado y Estados Unidos el 35%.

En Chile se encontró que las cuencas de bosques nativos producen más agua que las de bosques exóticos. El manejo adecuado del bosque nativo puede entregar madera y agua. Pero además, la densidad de truchas también es mayor, lo que favorece la pesca. En la Argentina, la región central pampeana pierde humedales, pastizales y montes a manos de la agricultura de secano, lo que afecta a varios servicios ecosistémicos. En esta zona la vegetación es un factor hidrológico debido a la baja pendiente del terreno, la evaporación y acumulación de sales. Estos ejemplos destacan algunos de los servicios que deben preservarse y para los cuales se deben encontrar formas de financiamiento.

Para ayudar a mitigar el impacto de carreteras en los bosques nativos tropicales se recomendaron acciones simultáneas. Hacer una evaluación ambiental que tenga en cuenta las invasiones forestales, de cazadores, la especulación del suelo y la construcción de carreteras secundarias. Establecer reservas protegidas a lo largo de las nuevas carreteras antes que se construyan. Minimizar nuevos caminos con una planificación previa a la cosecha de la tala y enfocar las operaciones a las carreteras y poblaciones existentes. Limitar el ancho de los caminos forestales y cerrar las carreteras después de la tala. Construir carreteras con un drenaje adecuado para manejar la escorrentía de las lluvias tropicales. Promover la construcción de ferrocarriles más de carreteras. Permitir el crecimiento secundario en los márgenes del bosque para amortiguar y reducir la desecación del bosque. Mantener una cubierta forestal continua por encima de las carreteras y construir pasarelas del dosel artificiales. Establecer cercas para la vida silvestre que dirija los animales hacia alcantarillas construidas para permitir el paso seguro en las carreteras. Limitar la velocidad de los vehículos y restringir la conducción nocturna cuando la actividad de los animales es más alta.



SECCIÓN 4 CIUDADES

Fotografías satelitales de Google Earth (<https://earth.google.com/>). Desde arriba hacia abajo.

Iluminación nocturna desde Santiago de Chile (Izquierda) hasta Buenos Aires (derecha).

Área Metropolitana desde Campana (derecha) hasta La Plata (izquierda).

Cuenca Matanza-Riachuelo, uno de los 10 ríos con mayor contaminación en el planeta.

Área de deposición de residuos en Ceamse (Provincia Buenos Aires).

Pueblo de Purmamarca en la Quebrada de Humahuaca en Jujuy.

Más habitantes en menos espacio

La población global. La huella dejada por cada uno de nosotros (ecológica, hídrica o de carbono) debe multiplicarse por una población mundial en aumento y con mejoras permanentes en "calidad de vida". Este incremento dependió de la alimentación, la higiene, la sanidad y la tecnología. Hace 100.000 años la especie *Homo sapiens* tenía una cantidad mínima de miembros y estuvo al borde de la extinción en un cuello de botella poblacional (¿1.000 humanos?) debido a un incidente de vulcanismo. Hace 10.000 años se sumaban 8 millones de personas; en 1800 se llegó a 1.000 millones; en el 2000 éramos 6.000 y en el 2011 llegamos a 7.000. El ritmo de crecimiento actual es de 2 Argentinas al año. Se esperan 8.000 millones para el año 2025, 9.000 millones antes del 2050 y el "pico poblacional" antes del 2100 (entre 10.000 y 11.000 millones).

Se calculó que el total de humanos a lo largo de toda la historia hasta el año 2000 fue cercano a 106.000 millones (hoy están vivos el 6% de todos los humanos de la historia). De ellos el 40% no paso del primer año de vida. Esto da cuenta de las mejoras de la civilización actual. El reto hacia el futuro es inmenso porque se están produciendo 3 transiciones simultáneas: demográfica (con un cambio de tendencia y forma de vida), económica (con mayor calidad de vida y crecimiento difícil de sostener) y ambiental (con stress creciente sobre el ambiente y la vida). Todo el incremento poblacional se volcará sobre las ciudades, lo que resulta en mucha presión sobre pequeños espacios. De la totalidad de la superficie terrestre disponible, el 10-15% es cultivable y el 2-3% está ocupado por ciudades. Para evitar deforestar y mantener el área de agricultura actual, las ciudades no deben expandirse. Pero resultan ser un imán por las posibilidades educativas, culturales, atención médica y empleo, aunque son también una fuente de problemas individuales, sociales y sanitarios.

El problema poblacional. Una de las primeras referencias al problema poblacional es la Catástrofe Malthusiana (Thomas Malthus-1798; "Ensayo sobre el principio de la población"). Este libro, que es el origen de la Teoría Demográfica, indica la imposibilidad del desarrollo sostenido debido al crecimiento aritmético de la alimentación y geométrico de la población. Malthus fue un economista que se ocupó de la demografía y pronosticó una catástrofe debido a la pauperización hacia el año 1880. La catástrofe no ocurrió. Sin embargo, influyó en C. Darwin y A. Wallace para imaginar la teoría de la Selección Natural. Ellos observaron que los nacimientos en la vida silvestre eran muy superiores a la tasa de reemplazo y sin embargo la población se mantenía constante. Ambos concluyeron que sobrevivían los mejor adaptados. Pero, K. Marx la criticó aplicada a la sociedad humana debido a la acción positiva que tendría la ciencia y tecnología de la era industrial.

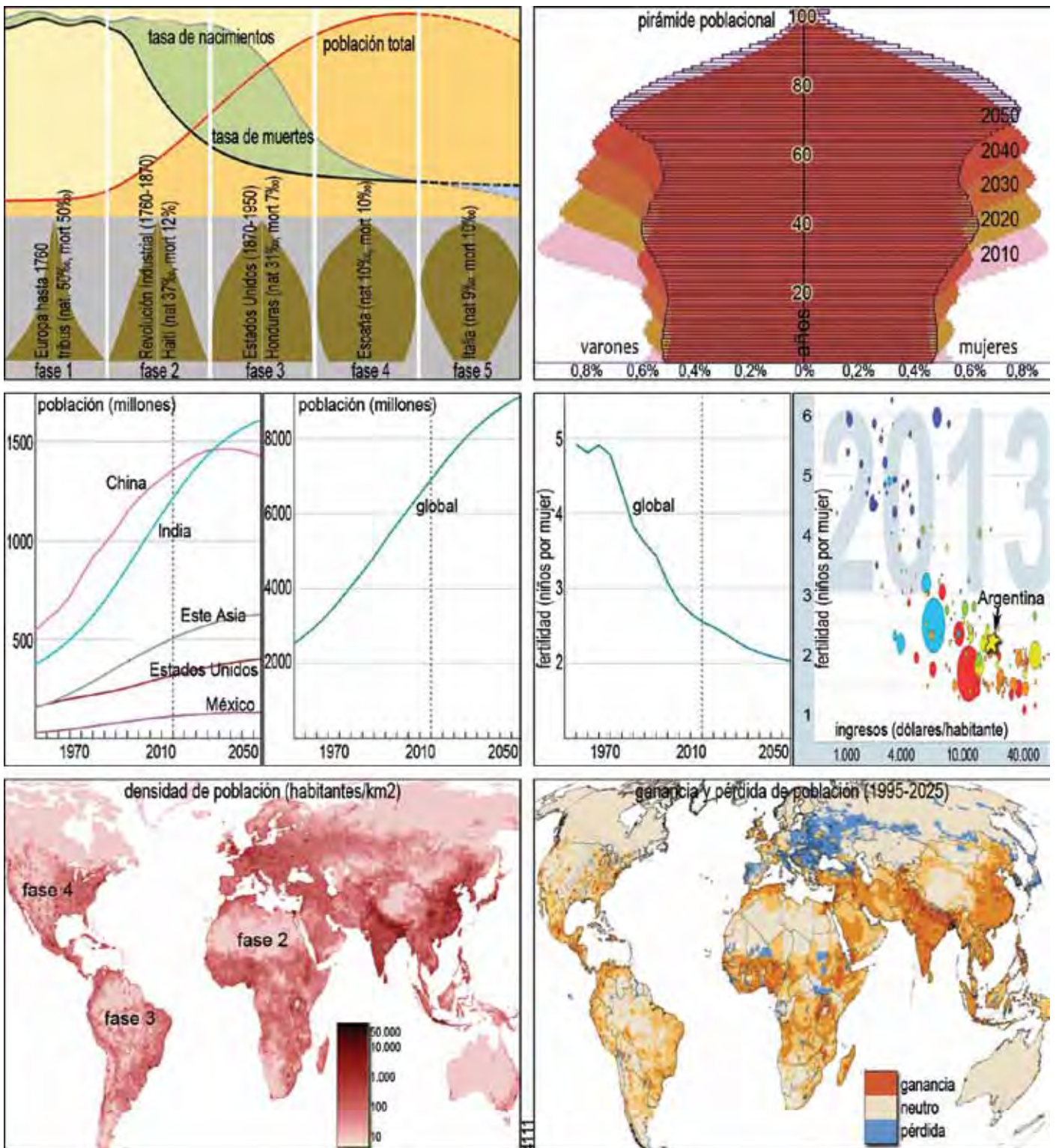
La catástrofe de Malthus no ocurrió debido al uso de combustibles fósiles baratos y fáciles de extraer. Para generar 1 caloría de alimentos se consumen 10 calorías de petróleo, ¿Cómo podía Malthus predecir este enorme incremento de la producción de alimento basado en un petróleo casi gratuito? Cada argentino libera cerca de 1 tonelada de carbono al año desde combustibles fósiles y va en crecimiento. Pero, el crecimiento indefinido no es sustentable y hacia fines del siglo XX

vuelve a surgir el espectro de Malthus cuando se plantea "el límite del crecimiento". El agotamiento de las reservas naturales (principalmente combustibles fósiles y tierra para la agricultura) impedirían sostener el crecimiento demográfico y el nivel de vida en simultáneo. Algunos señalan que en las sociedades desarrolladas existen entre 30 y 60 máquinas por habitante. Son "esclavos energéticos" que hacen trabajos que reemplazan humanos y se alimentan de combustible. Otros hacen hincapié en la falta de relevancia que se le asigna al problema poblacional. Alguien se preguntó: "¿jamás muere nadie de superpoblación?" La superpoblación no causa muertes directas, pero sí por enfermedades, hambre y catástrofes naturales que afectan a quienes no pueden salir de las zonas de alto riesgo. Desde el otro lado se advierte de la "implosión demográfica", forma en que se define al efecto de reducción de nacimientos y prolongación de la vida.

Procreación responsable. Este concepto data de los inicios del siglo XX y proviene del anarquismo y socialismo. Se refiere a la toma de conciencia para el control de la procreación. Implica el control de la natalidad (medios anticonceptivos) y la paternidad responsable (salud, alimentación y educación de los hijos). En aquella época pretendía reducir el exceso de las familias numerosas y la miseria de las clases pobres (el proletariado) surgidas de la revolución industrial. Implicaba una separación entre la sexualidad y la reproducción, impulsando la libertad sexual y la planificación familiar. Pretendía reducir la "carne de explotación" para las fábricas, acotando la delincuencia y prostitución, así como la emancipación de la mujer y la igualdad de derechos.

La tasa de fertilidad se redujo desde 5 hijos por mujer en la década de los años '60 a 2,5 en el 2010. Está levemente por encima de la tasa de reposición de 2,1 hijos/mujer. Este valor seguirá reduciéndose en la medida que África, que mantiene aún valores de 4-6 hijos/mujer, se acerque al valor de 3 hijos/mujer. En tanto, el total de la población seguirá en crecimiento hasta el "pico poblacional" dentro de 50 años. La causa es la prolongación de la vida. Por ejemplo, en España por cada 100 nacimientos de mujeres en 1860, solo 50 llegaban a los 15 años. Para las nacidas en 1895 el valor de 50% de supervivencia ocurría a los 35 años. Para las nacidas en 1925 llegó a los 80 años. Para las mujeres nacidas en 1960 el 50% llegará a los 88 años. A nivel global, los nacidos en la actualidad tienen una esperanza de vida de 70 años, siendo para la Argentina de 65 para los hombres y 72 para las mujeres.

Transiciones demográficas. La teoría básica de la demografía caracteriza a la población global por fases sucesivas. Fase (1) es el antiguo régimen demográfico donde las tasas de natalidad y mortalidad son muy altas; el crecimiento de la población es muy lento o estable. Fase (2) es el inicio de la transición demográfica, donde la mortalidad se reduce por las técnicas agrícolas, la medicina y alfabetización. Como referencia, en 1771 en base a los datos de la parroquia de Northampton (Inglaterra) se calculó que la esperanza de vida era de 26,41 años. Fase (3) es el final de la transición, con una natalidad en disminución por el acceso de la mujer a la reproducción responsable, la educación, el mercado laboral, la urbanización, y otros cambios sociales. Fase (4) es el régimen demográfico moderno donde la tasa de mortalidad "toca fondo" y la natalidad se nivelan. El crecimiento natural



4111. Crecimiento y distribución poblacional. La capacidad de aumento poblacional depende de la fase en que se encuentra cada sociedad. Sucesivamente, cada fase mejora la calidad de vida, se reduce la tasa de mortalidad infantil y aumenta el período de supervivencia, con lo que la cantidad de población aumenta (arriba-izquierda). Finalmente, en la fase 5 la tasa de natalidad disminuye y existe una tendencia a reducirse la población. La pirámide poblacional muestra la densidad de población dividida por franjas de edad (derecha). En la medida que pasan los años la pirámide se mueve hacia arriba y envejece. El máximo de la población en el planeta se espera entre 2050 y 2100 (centro-izquierda), porque la tendencia de la tasa de natalidad se reduce (2,5 hijos por madre en la actualidad). La mayor fertilidad se da en países de bajos ingresos por habitante, como en África (derecha). La Argentina tiene una tasa de fertilidad levemente superior a 2. La densidad de la población se concentra en ciertas áreas del planeta que coinciden con las regiones de elevada huella de carbono (abajo-izquierda). Como es de esperar, India y China tienen los valores de densidad más altos. En el período 1995-2025 algunas zonas tendrán una reducción en la cantidad de habitantes, coherente con la fase 5 de la evolución poblacional (derecha). Se da principalmente en Europa Oriental.

de la población se estanca. La humanidad estaría entrando ahora en la Fase 4 con diferencias entre países. Fase (5) es un agregado reciente y describe un crecimiento poblacional negativo, donde la tasa de natalidad es inferior a la de mortalidad. Lo cual resulta en un envejecimiento paulatino de la población mundial. La fase 4-5 se caracteriza por un cambio en la estructura etaria de la población. Crecen los grupos de edades maduras y longevas y disminuyen los grupos de menor edad. Es consecuencia directa del aumento general de la calidad de vida.

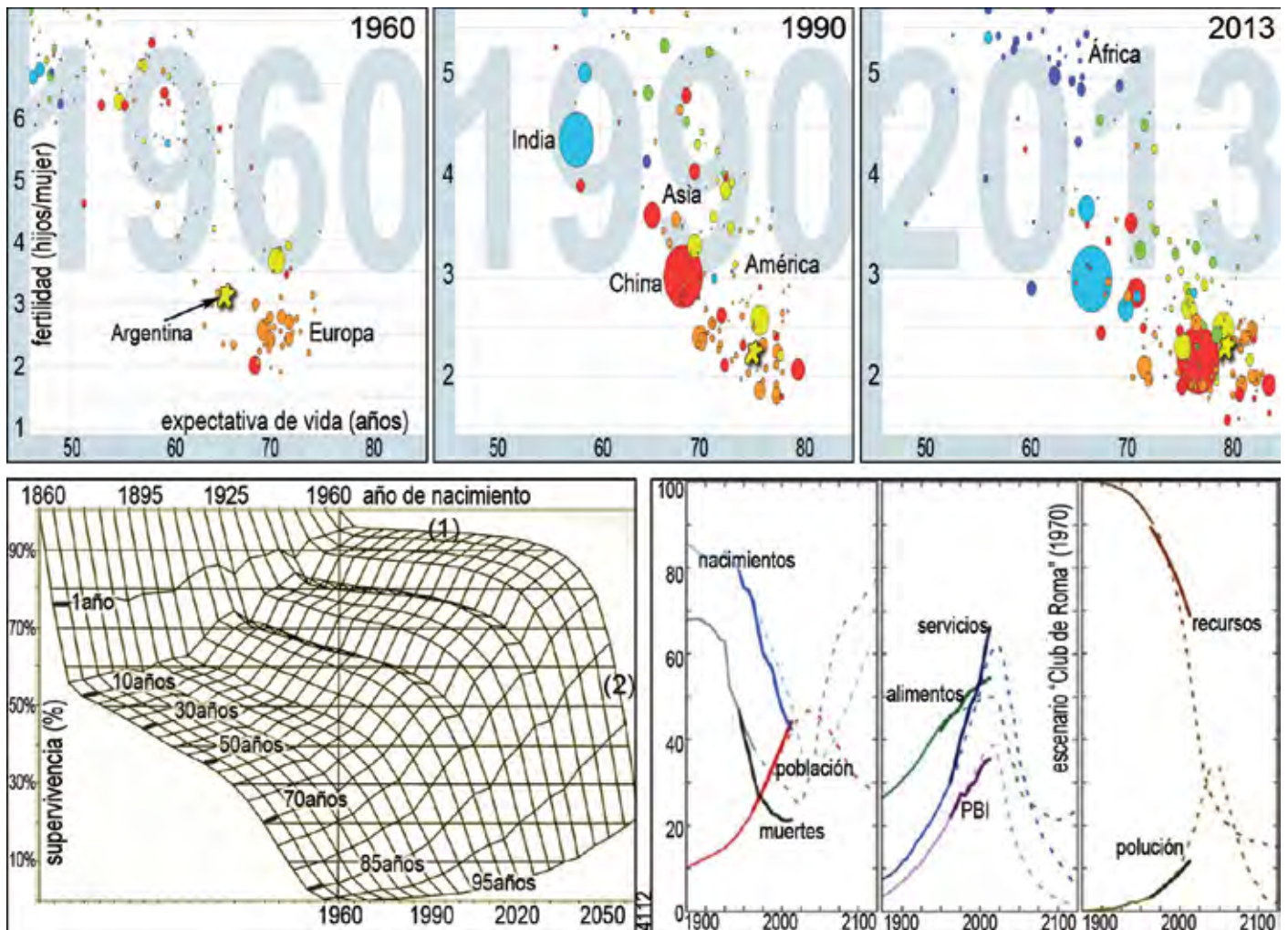
Un método visual utilizado para observar la evolución es la "pirámide de población". En el gráfico se pueden detectar los rasgos sobresalientes de los diversos grupos de edad y sexo. El envejecimiento de la población es consecuencia de una baja natalidad (contención de la fecundidad) y el crecimiento de la población anciana (mejoras en asistencias sanitarias y servicios sociales).

La "Segunda Transición Demográfica" es un concepto nuevo (1986) y representa la última fase. Incorpora fenómenos emergentes en un contexto estable de baja fecundidad y mortalidad. Se caracteriza por el incremento de la soltería; el retraso del matrimonio; la postergación del primer hijo; la expansión de las uniones consensuales; disminución

de los nacimientos con un solo hijo; uso de métodos anticonceptivos; nacimientos fuera del matrimonio y madres solteras; el alza de las rupturas matrimoniales; la diversificación de las modalidades de estructuración familiar; inmigraciones que compensan la caída poblacional en países desarrollados.

El envejecimiento poblacional. Según las Naciones Unidas (2010) el envejecimiento de la población no tiene precedentes, es un proceso sin parangón en la historia. Es profundo y permanente. La población envejece cuando aumenta la proporción de personas de la tercera edad (mayores de 60 años), se reduce la proporción de niños (menores de 15 años) y disminuye la proporción de personas en edad de trabajar (15 a 60). A nivel mundial, el número de personas de la tercera edad se espera que supere el número de niños por primera vez en 2045. En las regiones más desarrolladas esto ocurrió en el 2000. Desde 1950, la proporción de personas mayores aumentó constantemente, pasando del 8% en 1950, al 11% en 2009, y se espera que alcance el 22% en 2050. Esto tiene influencia en la justicia y la solidaridad, que son los cimientos de la sociedad.

En el ámbito económico, el envejecimiento tendrá un impacto en



4112. Natalidad y envejecimiento. La secuencia (arriba) muestra cómo evoluciona la tasa de natalidad en la medida que la calidad de vida de los países aumenta y se estira la expectativa de vida. La Argentina se encuentra en una posición de elevada expectativa de vida y baja natalidad desde hace décadas. La tendencia del envejecimiento como esperanza de vida aumentó en el siglo XX. Quien nació en 1960 tiene una esperanza (50%) de llegar a 80 años en los países desarrollados (centro-izquierda). La probabilidad de morir no aumenta con la edad sino que permanece casi constante (1) y cuando se es muy viejo hay un incremento abrupto (2). El escenario del "Club de Roma" (derecha) prevé el aumento de población, la caída de recursos y el aumento de la polución; con el peligro de caída de la sociedad actual.

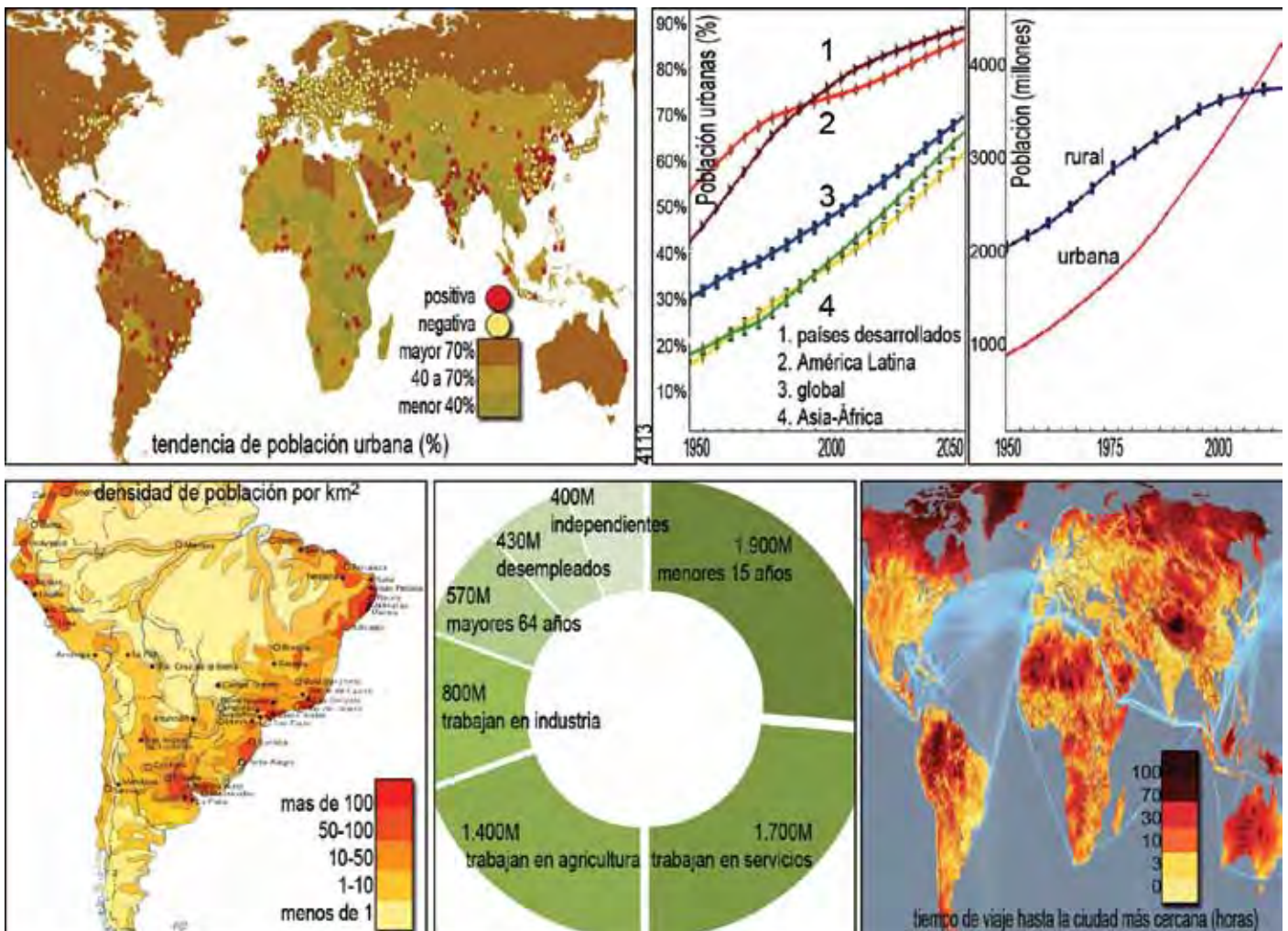
el crecimiento, el ahorro, la inversión, el consumo, los mercados de trabajo, las pensiones, los impuestos y las transferencias intergeneracionales. En el ámbito social, el envejecimiento de la población influye en la composición familiar y vital, la demanda de vivienda, las tendencias de la migración, la epidemiología y la necesidad de servicios de salud. En el ámbito político, el envejecimiento de la población puede alterar los patrones de voto y la representación política. Hasta el 2008 la población rural siempre fue mayor a la urbana, pero esto también cambió con una tendencia irreversible.

Coherente con el envejecimiento de la población y el cambio social se propone el concepto de "Revolución Reproductiva". Este concepto supone un cambio de paradigma que podría sustituir el concepto de transición demográfica. Se pasaría de un análisis transversal, que utiliza las edades como grupos de personas diferentes (pirámides de población), a un punto de vista longitudinal e intergeneracional que utiliza las edades como etapas de la vida de manera dinámica (infancia, niñez, adolescencia, etc). Las implicaciones sociológicas que se producen incluyen el declive del trabajo reproductivo donde el esfuerzo

reproductor baja; derrumbamiento del patriarcado con la eliminación de la división sexual; privatización de la sexualidad con la reducción del control social sobre la sexualidad; desaparición de la punibilidad de las relaciones sexuales no reproductivas; un apoyo intergeneracional y reforzamiento de los lazos familiares profundos; envejecimiento demográfico pero rejuvenecimiento de las etapas vitales, donde cada etapa de la vida se extiende en varios años.

La hipótesis de H. Rosling (*Gapminder Fundation*) dice que los niños más sanos y ricos tienden a formar familias menos numerosas y la población debería llegar a un máximo desde el cual descenderá. Este máximo ocurrirá entre 2050-2100 con 10.000 a 11.000 millones de habitantes. La hipótesis se soporta sobre una serie de estadísticas mundiales que muestran la evolución de muchas variables en 200 años.

Los riesgos. La cantidad de habitantes en las ciudades se incrementa, en la medida que la población rural se mantiene o disminuye. El cruce de ambas curvas ocurrió en el 2010. Las ciudades son un imán y se mantiene una migración en ese sentido. Históricamente, las migra-



4113. Población urbana y rural. La población urbana aumenta en los países en desarrollo (arriba-izquierda), en tanto, los países ricos mantienen valores más estables o decrecientes. A nivel global (derecha) la población rural tiende a estabilizarse y por primera vez en la historia es mayor la población urbana que la rural. La Argentina es un país extremo con un máximo de población urbana al 92,8% del total. En el mundo solo 600 ciudades producen el 60% del PBI mundial y en el 2025 tendrán el 25% de la población. Algunas ciudades llegaron al máximo y tienen una tendencia negativa (Europa). En Sudamérica la población se concentra cerca de las costas (abajo-izquierda). A nivel global la ocupación de la humanidad se distribuye de forma que los servicios y la industria supera a la agricultura (centro). Una forma de observar la población es mediante el tiempo de viaje (en cualquier medio de transporte terrestre o acuático) hasta la ciudad más cercana (abajo-derecha). El lugar más remoto está en el Tíbet con 3 semanas de viaje. Solo el 10% de la superficie terrestre está a más de 2 días de una ciudad. El Amazonas es considerado un lugar remoto, pero se comunican mediante ríos y resulta menos remoto que otros lugares en el planeta.

ciones fueron una estrategia adaptativa a los problemas sociales. Por ejemplo, entre 1830 y 1950 cerca de 65 millones de personas abandonaron Europa. El 10% llegaron a la Argentina y fueron 13% de italianos y 70% de españoles. En el futuro las migraciones internas por cambio climático serán las más importantes.

Basado en datos de estadísticas de largo plazo se sabe que las variaciones climáticas (temperatura y lluvias) tienen una correlación con las migraciones entre territorios cercanos, mientras que los desastres episódicos no tienen ésta correlación. Las migraciones estarán forzadas por la desertificación de áreas agrícolas (p.e., sudoeste de la provincia de Buenos Aires); la inundación de zonas costeras bajas por aumento del nivel del mar; el aumento estacional de los ríos (p.e., Paraná en el Litoral y Salado en la zona agrícola); afectará a las zonas bajas de las ciudades (p.e., los ríos Reconquista y Lujan); en la cordillera se producirá la pérdida de glaciares y la reducción en la provisión de agua, así como la reducción del caudal de los ríos en el Valle de Río Negro.

Para lo que resta del siglo se producirán varios de los siguientes máximos a partir del cual el indicador debe disminuir. El pico poblacional se producirá antes del 2100 con un valor de 10 a 11 mil millones de personas. El pico en la extracción de petróleo quizás ya se produjo, pero el de extracción de gas se prolonga gracias a la técnica de fracturación hidráulica. En agricultura el pico en el uso del suelo también

ocurrirá en este siglo, la frontera agropecuaria debe estabilizarse. En minería está el pico en la extracción de fertilizantes minerales como el fósforo. También la disponibilidad de agua tiene su máximo en muchas regiones por el agotamiento de los acueductos y lagos, y la construcción de represas en los ríos deberán interrumpirse. La ley de Moore lleva 50 años en los cuales la capacidad de la industria electrónica se duplicó cada 2 años, pero algún día cercano la miniaturización llegará a su fin. El Club de Roma publicó "Los límites al crecimiento" en 1972, donde alerta sobre estos picos y las consecuencias, entre ellos: deterioro del ambiente; crisis en instituciones (burocratización, violencia); brecha entre países ricos y pobres; crecimiento urbano descontrolado; impugnación de los valores sociales; indiferencia ante la ley; etc.

El crecimiento demográfico puede llevar a un colapso de la sociedad. Se han descrito diferentes formas por las cuales la sociedad podría llegar a un clímax y caída. Una alternativa es el "colapso malthusiano" por rendimiento decreciente de suministros alimentarios. Otra alternativa es la "reducción de la tasa de retorno energética TRE" que ocurrirá cuando la TRE sea inferior a 1. Se han identificado 3 modelos de colapso de las sociedades antiguas: (1) "Los dinosaurios", donde los líderes se oponen a cambiar y continúan por el camino trazado hasta el final (URSS). (2) "Huida hacia adelante", donde la sociedad solo funciona cuando hay crecimiento y cae si se interrumpe al aporte exterior (los mongoles). (3) "Castillo de naipes", donde la sociedad crece en una forma tan compleja que los distintos estamentos se contradicen.

Ciudades y arquitectura sustentables

Urbanismo sustentable. Todo el crecimiento demográfico será urbano; la cantidad de megaciudades se incrementa y la sustentabilidad del sistema cruje. Los conceptos tradicionales (planificación urbana y servicios; transporte y vivienda; seguridad y salud; educación y cultura) requieren otra mirada diferente para el futuro. Hay conceptos "similares" que ayudan a la confusión. Por ejemplo, arquitectura verde (asociado a edificios con plantas en techos o paredes); arquitectura ecológica o bioconstrucción (asociado al uso de materiales naturales y de mínimo procesado); arquitectura bioclimática (construcción que aprovecha los recursos disponibles como el agua, viento, sol).

Para determinar la sustentabilidad de una ciudad deben considerarse los siguientes aspectos: (1) El gobierno de la ciudad debe ser transparente y participativo; completamente informatizado y accesible por Internet; con gestión descentralizada y por sus habitantes. (2) El ambiente tiene que seguir una tendencia de menor contaminación; se requiere una predicción eficiente de alertas meteorológicas o geológicas; con una política de mínimo consumo de suelo y recuperación de espacios públicos. (3) La ciudad debe ser un "organismo vivo", autosuficiente y en equilibrio con la naturaleza; debe ser un lugar saludable que genera bienestar; debe reciclar y producir la energía que consume y expulsar pocos residuos. (4) La dimensión física debe ser a "escala humana" con distancias cortas para una movilidad a pie; con una red equilibrada de barrios fuertes; debe ser compacta con una fuerte economía local; la movilidad no debe ser contaminante y tener control inteligente para manejo del tráfico; debe favorecer el transporte público. (5) Respetará las diversidades culturales y la identidad; tenderá al consumo responsable y a la eficiencia energética en el hogar.

Un concepto importante es "cambiar el metabolismo urbano lineal por circular". En el metabolismo lineal se ingresan alimentos a la ciudad y egresan residuos. En el metabolismo circular se produce alimentos locales (permacultura) y se reciclan los nutrientes vegetales; se tiene un ciclo cerrado de agua; se genera energía eléctrica (solar) y la eficiencia es máxima; se reciclan los materiales de construcción; se utiliza madera de bosques plantados; los equipamientos tienen un ciclo de vida largo, etc.

La ciudad debe producir parte de los alimentos que consume. Los huertos urbanos que ocupan terrenos baldíos aumentan la belleza y el valor de la vecindad. Ofrecen también recreación y red social a los involucrados y pueden ser una fuente de ingresos. Pero el suelo puede tener contaminantes como el plomo, que llega en la planta o la tierra adherida. Otro problema es conseguir agua fiable no contaminada. La permacultura es una alternativa posible para esta actividad. Se deben incorporar sistemas de tratamiento de aguas grises mediante filtros, con estabilización biológica mediante juncos y otras variedades vegetales acuáticas. Se pueden separar las aguas grises (cocina, lavadero, duchas) de las aguas negras (inodoros) para tratarse en forma biológica y reutilizarlas en el riego. Estos métodos, combinados con la producción de compost y la separación de la basura, ayudan a minimizar la producción de desechos.

En un proceso opuesto a la sostenibilidad, las ciudades demandan más agua externa, desechan el agua de lluvia y no reciclan las aguas cloacales. Un aporte es el aprovechamiento del agua de lluvia cambiando el diseño del drenaje actual mediante alcantarillado hacia

uno que lo aproveche en espacios verdes. En espacios nuevos los terrenos a edificar deben contemplar la cuenca hidrológica para usar la escorrentía con espacios verdes. Minimizar las áreas impermeables y reducir la compactación del suelo. Algunos ejemplos que van en esta dirección son: terrazas y fachadas verdes (para absorción de agua de lluvia); cunetas vegetales (arbolado y plantas en las veredas); jardines

de tormentas (zonas deprimidas con suelo permeable para acumular agua) y pavimento permeable (con zonas de estacionamiento a lo largo de las calles).

Arquitectura sustentable. Hacia el 2010 la industria de la construcción en la Argentina era responsable del 40% de la demanda de



4121. Modelos de ciudades. Las ciudades en Estados Unidos (arriba-izquierda) tienden a una expansión desmedida en las zonas rurales periféricas a las grandes ciudades. En Europa se concentran, en cambio, a lo largo de las vías de comunicación como los ferrocarriles (derecha). En la Argentina, el modelo precolombino en los Andes muestra ciudades que siguen el perfil del terreno (centro-izquierda). Las ciudades hispanas siguieron un modelo de cuadrículado con las áreas administrativas comunales en el centro (derecha). Las ciudades de Brasilia (abajo-izquierda) y Putrajaya (derecha) son modelos urbanísticos modernos diseñados desde cero.

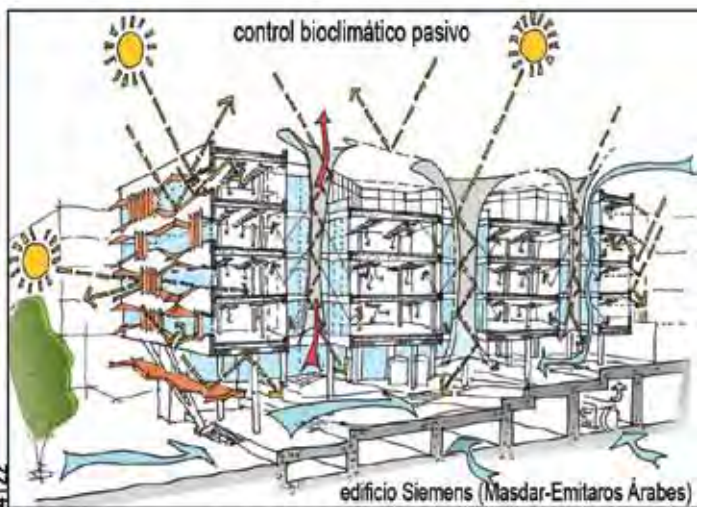
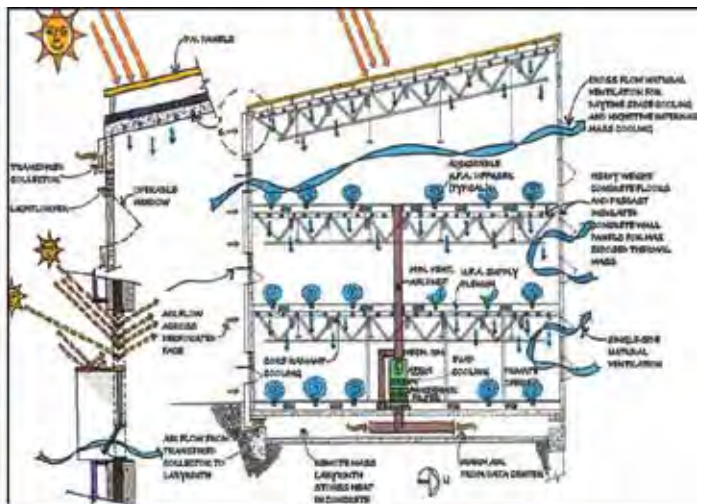
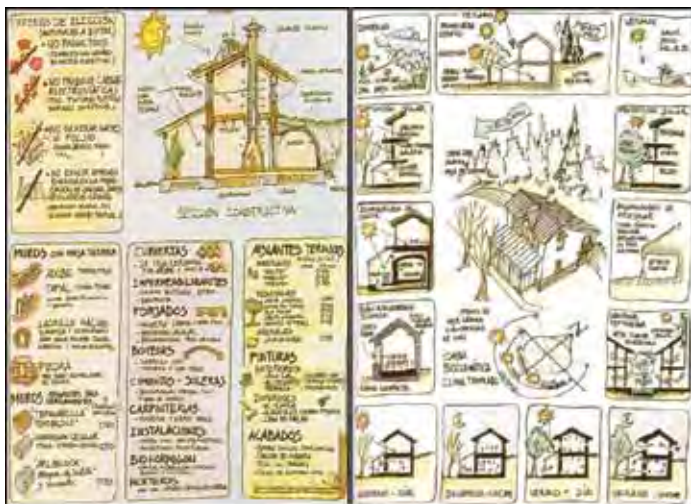
energía y generaba el 50% de los residuos sólidos, siendo una actividad muy poco sustentable. Por lo tanto, la arquitectura y construcción deben cambiar. La clave es optimizar los recursos y los sistemas de edificación minimizando el impacto en el ambiente y la sociedad. Los principios de la arquitectura sustentable incluyen: (1) Tomar en cuenta las condiciones climáticas, hidrográficas y del ecosistema para el diseño; respetar la biodiversidad del lugar; integrar la construcción al ambiente. (2) Considerar los requisitos de, salubridad, iluminación y habitabilidad; crear circuitos cerrados de aguas y residuos. (3) Asegurar la eficacia y moderación de los materiales de construcción usando aquellos de bajo contenido energético; los que son de producción local para evitar el transporte; productos que sean reciclados o reciclables, reduciendo el uso de materiales áridos traídos desde las canteras; optar por proveedores certificados; gestionar adecuadamente los residuos generados en la construcción. (4) Minimizar el balance energético a lo largo de toda la vida útil (calefacción, refrigeración, iluminación); diseñar con austeridad haciendo más con menos y aumentar el uso de fuentes de energía renovables.

La elección del lugar. La localización es el aspecto central en la sustentabilidad habitacional. La tendencia de las urbanizaciones de Estados Unidos, con expansión horizontal de las ciudades, no es sustentable para la provisión de servicios y movilidad pública. Las cons-

trucciones en medio del bosque y solitarias son perjudiciales para el ambiente natural; funcionan como foco posterior de crecimiento urbano y aumenta el consumo de energía. La extensión devora terrenos y deforesta territorios. El estado de Florida perdió la mitad de los humedales y en California el 90% del ecosistema costero fue alterado. Este modelo tiene un alto costo ambiental; y en tiempo de viaje; consumo de combustible e imposibilidad de usar transporte público. Tampoco facilita el movimiento a pie, debido a las grandes distancias o ausencia de sendas peatonales.

Desde siempre el lugar se eligió por la disponibilidad de agua. Hoy, se la considera un elemento escaso y se debe cuidar la captación, acumulación, depuración, uso y reutilización. Se aconseja poner sistemas para acumular agua de lluvia. Los depósitos de agua deben protegerse de la luz y el calor.

El movimiento urbanista actual prefiere una localización urbana o suburbana cercana a las vías de comunicación existentes. Un balance mixto entre áreas industriales (limpias), comerciales y residenciales que facilite la accesibilidad para viajes a pie, en bicicleta, o transporte público. La infraestructura básica resulta más eficiente en concentraciones urbanas. Un modelo de ciudad europea es más eficiente al desarrollarse junto a las líneas de ferrocarril eléctrico. La densidad de edificios



4122. Arquitectura bioclimática. La climatización pasiva mediante circulación de aire, el uso de materiales aislantes biocompatibles, junto con la iluminación natural interior permiten el ahorro de energía (arriba). La ciudad de Masdar (Emiratos Árabes) es una de las primeras ciudades sustentables (abajo). Usa energía fotovoltaica, materiales de construcción de bajo carbono, solo tiene transporte público automatizado, ningún residuo sale de la ciudad (se recicla, composta y se genera energía por incineración), se reprocessa el 100% de las aguas residuales, se desaliniza el agua mediante energía solar.

permite un mejor aislamiento térmico; aprovechamiento de los servicios públicos; el uso de calles y avenidas en lugar de carreteras; la posibilidad de movilizarse a pie con una mayor protección para el peatón.

Materiales de construcción. Los materiales adecuados son los que poseen bajo contenido energético; los que emiten menos gases GEI al ser fabricados; los que son hechos de materiales reciclados y serán reciclables al fin de la vida útil. Los materiales que consumen mayor energía en el proceso de fabricación son: aluminio primario (60 kWh de energía por cada kg de producto), neopreno (34 kWh/kg), pinturas y barnices sintéticos (28), el poliestireno expandido (28) y el cobre primario (25). En caso de usar maderas se evitará las provenientes de bosques nativos y se prefiere las de cultivos certificados.

Se deben incorporar materiales reciclados o de segunda mano. Se adaptarán viejas estructuras y construcciones para responder a nuevas necesidades, con lo que se beneficia a la armonía y se evita demoler para volver a construir. Los materiales para reciclar son: la mampostería (escombros triturados) para contrapisos; el hormigón puede ser triturado para estructuras de menor compromiso de cargas; las puertas, ventanas y otras aberturas de madera; los aislantes termoacústicos; las mayólicas y otros revestimientos cerámicos; las cañerías metálicas; las cubiertas de chapa para cercos de obra; el hierro estructural para obras menores; el hierro fundido para las líneas de agua y gas; las rejas; etc.

La construcción bioclimática es un sistema de edificación realizado con materiales de bajo impacto ambiental, de origen vegetal y biocompatibles. Se busca minimizar el impacto en forma respetuosa con los seres vivos, favoreciendo los procesos evolutivos y la biodiversidad.

Las principales premisas son: (1) Ubicación adecuada: se evitará la proximidad de fuentes contaminantes eléctrica, electromagnética, química y acústica. (2) Integración: la actitud es de integración al entorno y no de ocupación. Se atiende la morfología del terreno, construcciones adyacentes, estilos arquitectónicos tradicionales, vegetación propia del lugar y armonía. (3) Diseño personalizado: es un proceso interactivo para que la vivienda se adapte y sirva para desarrollar la forma de vida del usuario. Se procura evitar los elementos rectilíneos con esquinas pronunciadas. Las luces se pueden salvar con arcos y bóvedas. Las proporciones espaciales, formas y colores juegan un papel en la armonización. (4) Orientación y distribución de espacios: se atenderá a las condiciones bioclimáticas para el ahorro energético. Se aprovecha los cristales para el óptimo intercambio térmico y lumínico. Se usarán paredes y suelos de alta inercia térmica. Hacia el sur se orientan las dependencias poco usadas (garajes, despensas y escaleras). (5) Materiales biocompatibles: deben facilitar el intercambio de humedad entre la vivienda y la atmósfera (la vivienda debe "respirar"). Los materiales deberán ser de poca elaboración y de recursos locales. Sin elementos nocivos (asbesto, poliuretano, cloro, PVC). Se usarán cables con aislantes libres de halógenos y sin PVC. Se evitarán los aislamientos y pinturas sin poros, plastificados, retenedores de polvo electrostático (moquetas y suelos plásticos) y materiales que emiten gases tóxicos en su combustión. Se pide usar pinturas al silicato, al agua, aceite de linaza, ceras naturales. En las estructuras se prefiere cemento natural y cal hidráulica. Usar lo menos posible el acero y conectado a tierra. No abusar de estructuras de hormigón armado y sustituirlas por muros autoportantes, arcos y bóvedas.

Una organización dedicada a la difusión de la arquitectura bioclimática es PLEA (*Passive Low Energy Architecture*). Busca la promoción de la arquitectura pasiva y de bajo consumo. Posee una comisión responsable de la difusión de los principios del diseño bioclimático y del uso de las técnicas naturales para la calefacción, refrigeración e iluminación. Sirve como foro internacional e interdisciplinario que incentiva la responsabilidad ecológica y ambiental en arquitectura y planeamiento. Persigue sus objetivos a través de conferencias y de talleres; reuniones y consultas del grupo de expertos; publicaciones científicas y técnicas; competiciones y exposiciones arquitectónicas.

Biomimetismo. Es la ciencia que estudia la naturaleza como fuente de inspiración para el diseño industrial y la construcción. La naturaleza (biología) es sustancialmente diferente a la ingeniería (física). Por ejemplo: la naturaleza usa elementos ligeros y comunes (P, K, Ca) y la ingeniería elementos pesados y escasos (Fe, Al, Ni, obtenibles mediante la minería). En la naturaleza se crece por autoensamble influenciado por el ambiente y en la ingeniería se responde a formas externas. En la naturaleza las estructuras son jerárquicas y en la ingeniería las estructuras son monolíticas.

El biomimetismo pretende introducir en la ingeniería las normas de la naturaleza. Para lograrlo se basa en los siguientes principios de la naturaleza que deberían incorporarse a la ingeniería: (1) adaptarse a las condiciones cambiantes: incorporar diversidad, autorenovarse, incorporar resiliencia mediante variaciones, redundancia y descentralización. (2) responder localmente: promover procesos cíclicos, usar energía local, usar bucles de retroalimentación, cultivar relaciones cooperativas. (3) eficiencia con los recursos: usar procesos de poca energía, hacer un diseño multifuncional, reciclado de materiales. (4) integrar desarrollo con crecimiento: auto-organización, construir desde la base, combinar componentes modulares y anillados. (5) uso de química amigable con la naturaleza: degradar en componentes benignos, construir modularmente con pocos elementos, hacer química del agua. (6) evolucionar para sobrevivir: replicar estrategias que funcionan, integrar lo inesperado, recombinar información.

Eficiencia energética. La reducción del consumo energético se logra mediante la capacidad para capturar la energía solar en forma pasiva y la eficiencia en el uso mediante la aislación de edificios. La climatización activa (calefacción y refrigeración) consume mucha energía. Por ejemplo, el aire acondicionado parece imprescindible en edificios urbanos muy densos, en climas cálidos o con uso intensivo del interior. El número de unidades de aire acondicionado se incrementa por el calentamiento global y el aumento de la calidad de vida. La correlación entre estas variables llevó a calcular que el número de hogares con aire acondicionado aumentará desde el 13% actual al 70% en el 2100. En el 2015 más del 50% de consumo en aire acondicionado corresponde a Estados Unidos. En invierno, cuando no se usa, la red eléctrica queda sobredimensionada. Los equipos con certificación energética reducen el consumo en equipos que requieren 4 kcal de energía eléctrica para extraer 1 kcal de calor del interior. Pueden adoptarse sistemas de recuperación de calor que permite recuperar parte de la energía térmica del interior. Se usa un circuito donde el aire que ingresa y el que sale pasan por conductos paralelos sin que se mezclen (circuito a contracorriente).

El diseño debe aprovechar la energía solar en forma pasiva valorando el uso de las ventanas, que se usan para maximizar la entrada

de la luz o reducir la pérdida de calor. En el hemisferio sur, en climas templados y fríos, la superficie vidriada al norte debe ser mayor que al sur. El uso del doble vidriado hermético reduce las pérdidas de calor. En casos simples el encintado de las aberturas de ventanas y puertas reduce la circulación de aire. Se añade inercia térmica a la construcción usando materiales que acumulan calor en su masa (hormigón, ladrillos, piedra, adobe, suelo de cemento, agua). Para minimizar la pérdida de calor en los edificios el diseño debe ser compacto, bajo y cerrado; para mantenerlos frescos se elevará la altura. Para mayor eficiencia se puede incluir: la adecuada protección solar en todas las superficies vidriadas; evitar el uso de vidriados en los techos; el aislamiento térmico; concentrar los espacios de gran emisión de calor (computadoras, cocinas) y darles buena ventilación; sectorizar los espacios según usos; ventilar los edificios durante la noche; usar materiales de construcción con gran masa térmica y espesores de muros o techos variables; usar la envolvente del edificio como un sistema de almacenamiento de calor; uso de ventilación interior mediante una chimenea solar.

Los árboles de hojas caducas (se pierden en invierno) bloquean el sol en verano y permiten el paso en invierno. Las plantas perennes (con hojas todo el año) se plantarán al sur del edificio para actuar como barrera de vientos. Si se conocen los vientos dominantes (intensidad, dirección y temporalidad) se puede adoptar sistemas de climatización basados en el principio de "presión diferencial". Se usan conductos de

ventilación que generan corrientes de aire por zonas de temperatura estable. En climas muy cálidos los edificios se diseñan para capturar y encauzar los vientos existentes y producir una corriente natural interna de aire.

La autogeneración de energía se refiere a colocar paneles solares o sistemas eólicos para electricidad o colectores solares para calentar agua. La mayor eficiencia se encuentra en obtener agua caliente solar para el baño y la calefacción. Uno de los costos más altos está en el sistema de acumulación de energía eléctrica en baterías. Lo ideal para garantizar el suministro energético durante todo el año, bajo condiciones climáticas y ambientales cambiantes, es combinar las diferentes fuentes, incluyendo la red pública. Más complejo es el reciclado de un edificio antiguo para integrarlo con energías renovables.

Hogares inteligentes (domótica). La domótica es un conjunto de sistemas que permite automatizar el edificio. Proviene de *domus* (casa en latín) y *tica* (automático en griego) y se asimila a "edificio inteligente". Se basa en sensores distribuidos para diferentes aplicaciones que actúan sobre un software central. Este software activa sistemas eléctricos de motores para accionar los aparatos. Así se puede gobernar la climatización, toldos y persianas, luces y aparatos eléctricos de confort, sistemas de seguridad y cámaras, alertas médicos, etc. Puede hacerse por horarios, necesidades, umbrales, mediante acceso remoto, etc.



4123. Ciudades verdes. Entre las propuestas para incluir vegetación en las ciudades se encuentran los edificios con amplias zonas interiores verdes, terrazas con aislantes apropiados (arriba), fachadas verdes y reservas naturales exclusivas para la vida natural que están ancladas cerca de la costa (abajo-derecha).

Ciudades verdes. Este concepto incluye el arbolado de las aceras; plazas y jardines; techos y fachadas de edificios; reservas urbanas naturales y creadas. Los árboles urbanos tienen diferentes motivaciones: objetivos culturales, emotivos y de recreación; ayuda a mantener la vida silvestre; producen sombra y reducción del impacto del viento; reducen la contaminación atmosférica (temperatura, smog); absorben CO₂. Las veredas no son un lugar óptimo para el desarrollo de los árboles, pero es el lugar donde se los necesita. Se aconsejan los árboles nativos con un arraigo cultural y sentimental. Las raíces afectan la superficie y si son profundas pueden dañar los caños de los servicios públicos (el paraíso se adapta bien a esta función pero es un árbol exótico y le da en ese orden una connotación más negativa). El follaje puede ser caduco de forma que las hojas se pierden y pueden tapar los desagües (plátano). Este follaje protege del sol en verano y deja pasarlo en invierno. Se prefieren flores explosivas por la limpieza del piso (el palo borracho tiene flores por largos períodos y son resbalosas). Se prefiere una forma con copa alta y amplia sin ramificaciones, no debe obstaculizar la vista del peatón. Deben ser rústicos de forma que resistan enfermedades y lastimaduras sin quebrarse. Deben vivir mucho tiempo ya que los árboles de crecimiento rápido viven poco y complican el repoblamiento.

Donde la climatología y arquitectura lo permite, se pueden incorporar cubiertas vegetales inundables y terrazas verdes en los edificios. Las ventajas de las cubiertas verdes son: mejora la climatización y el aislamiento térmico; la absorción de la luz solar reduce la temperatura interior; permite cultivar flores y frutos habilitando espacios no usados; prolonga la vida del techo; reduce el riesgo de inundaciones; actúa como barrera acústica; filtra contaminantes de la lluvia y del aire; beneficia a la biodiversidad; combate el efecto "isla de calor" de las ciudades; atrapa CO₂ y genera oxígeno.

Los techos verdes pueden ser intensivos y extensivos. Los intensivos son profundos, pesados, exuberantes y con acceso 100% al ser humano. Los extensivos se limitan a plantaciones superficiales sin acceso frecuente con beneficios ecológicos y estéticos. Se construyen mediante varias capas de materiales cuyos objetivos son: impermeabilizar el techo, aislar a las raíces de la estructura, airear la tierra de soporte y drenar el agua. Los techos verdes, pueden ser voluntarios u obligatorios. En el 2009, Toronto (Canadá) fue la primera ciudad de América en obligar a instalar techos verdes en nuevas construcciones (entre 20-60% de la superficie para edificios de más de 2.000 m²). En



4124. Construcción eficiente y sustentable. La eficiencia busca reducir el consumo de energía en todas las etapas de las viviendas (arriba-derecha): materiales de construcción, ahorro en iluminación y climatización, equipos certificados, etc. La certificación (LEED) entrega una oblea con grados de calidad a aquellas construcciones que aplican conceptos de arquitectura sustentable. En la figura se muestra el local Nike en Unicenter (derecha). La domótica (abajo-izquierda) vuelve más eficiente a los hogares gracias al uso de la automatización que utiliza sensores distribuidos y un software centralizado. El biomimetismo es una forma de pensar el diseño industrial, la arquitectura y las ciudades. El estudio clásico aprende sobre el árbol, pero el biomimetismo hace un estudio de cómo funciona la naturaleza para que el diseño industrial y la construcción adopten esas estructuras (derecha).

el 2010, Copenhague (Dinamarca) obligó techos verdes para todos los edificios nuevos con menos de 30° de pendiente. Los techos verdes también pueden tener paneles solares para generar energía eléctrica. En el 2014, Lancaster (California) obligó a toda casa familiar nueva a incluir un sistema solar de 1 kW como mínimo.

Las certificaciones. Hay varios esfuerzos para normalizar la descripción del impacto ambiental de las construcciones. A nivel internacional es la ISO (*International Organization for Standardization* ISO-TC59); a nivel europeo es la ECS (*European Committee for Standardization's* CEN-TC350); en Estados Unidos la ANSI (*American National Standards Institute* ANSI-189.1-2009) y en la Argentina el subcomité de Construcciones Sustentables de IRAM (*Instituto Argentino de Normalización y Certificación*).

Una certificación de edificios bastante difundida es LEED (*Leadership in Energy & Environmental Design*). Es un conjunto de normas que analiza y valida aspectos relacionados con la sostenibilidad. Inicialmente se enfocó a edificios nuevos y luego se adaptó para obras de refacción de edificios. Los estándares van evolucionando con un criterio de mejora continua aumentando progresivamente el grado de exigencia. Se establecen categorías: parcelas; ahorro de agua; eficiencia energética; materiales; calidad de aire interior; innovación en el proceso de diseño y prioridades regionales. Se indican requisitos de cumplimiento obligatorio y créditos por cumplimiento voluntario. La certificación es voluntaria y el objetivo es reducir el impacto ambiental de la industria de la construcción. Existen 4 niveles de certificación (certificado; plata; oro y platino) y el proceso más habitual (edificios nuevos) tiene lugar durante las fases de proyecto y obra, obteniéndose la certificación al final de la fase de obra. Redactada en Estados Unidos, se usa en otras partes del mundo. A LEED se lo criticó por el exceso de aspectos ligados a la eficiencia energética.

Por ejemplo, el local de Nike en Unicenter (San Isidro, Buenos Aires) certificó LEED-Gold con las siguientes características: incorpora

iluminación LED lo que consume 80% menos de energía y reduce el uso de refrigeración; usa equipos de aire acondicionado y ventilación con controles inteligentes; la madera tiene certificación del FSC; se reutilizó el 60% de las estructuras existentes del local anterior (menor cantidad de materiales nuevos); se usaron materiales del lugar; los materiales no usados fueron donados y reusados; se logró reducir el consumo de agua en un 40%; se especificó una zona para la separación de residuos reciclables (cajas, envoltorios, papeles y bolsas) y ofrece una mejor calidad de aire con una toma de aire exterior.

Argentina: normas IRAM. En la Argentina no existe reglamentación obligatoria o voluntaria que indique el grado de sustentabilidad de un edificio. El IRAM es una organización no-gubernamental que participa dentro de la ISO y genera normas de carácter voluntario. Estudia las normas internacionales (la norteamericana LEED, la británica BREEAM, la japonesa CASBEE, etc.). Trabaja con normas de etiquetado de materiales para la eficiencia energética, el uso del agua, cubiertas verdes, materiales, implantación en el terreno. El IRAM se ocupa de los siguientes aspectos: envolvente del edificio; elementos opacos y no opacos (ventanas); cómo se aíslan los muros y los techos; ventilaciones apropiadas; ubicación y orientación. La calificación de los edificios se hace según la necesidad de la aireación, aislación acústica, entre otros. Se toma en cuenta el análisis del ciclo de vida, origen de los materiales, las sustancias, métodos de extracción, reciclado, etc.

En 2009 la subcomisión de eficiencia energética edilicia de IRAM aprobó la Norma IRAM-11900 "Etiqueta de eficiencia energética de calefacción para edificios" a fin de regular la demanda de energía de todo edificio nuevo que solicite el servicio de gas natural por red. Esta norma propone una etiqueta y clasifica a los edificios en 8 niveles de eficiencia usando la transmitancia térmica del edificio en la época invernal. El indicador utilizado (tau medio ponderado) se define como la diferencia de temperatura superficial interior media ponderada de techos, muros, pisos en contacto con el exterior, puertas y ventanas y la temperatura interior de diseño (20 °C).

Hoja de ruta de la movilidad y transporte

Vehículos y contaminantes. El transporte es responsable del 23% de los gases GEI totales y se espera un incremento del 50% para el 2030. Cuando se habla de transporte de personas las emisiones son dispares. Una camioneta 4WD genera 400 gCO₂/km (gramos de CO₂ por km recorrido). En comparación, un auto mediano genera 110-150 y una moto 80. Aunque la capacidad de transporte de cada uno es diferente. En el caso del transporte público el cálculo suele hacerse por pasajero: un avión genera 150-250 gCO₂/km/pax dependiendo de la distancia del viaje; un autobús 60; un tren 20-45 y un ferry 40. Como el transporte público es programado, consume aunque circule vacío y se supone que un pasajero adicional sobre la capacidad promedio debería tener una carga ínfima sobre las emisiones.

En la Unión Europea desde 2015 los nuevos vehículos deben cumplir con un máximo de emisión de 130 gCO₂/km. Pero los fabricantes sólo logran estos niveles en mediciones en laboratorio. A partir de 2021 el límite se fijó en 95 gCO₂/km. Una forma de lograrlo es con motores diésel que son más eficientes porque necesitan un 20% menos de combustible

y emiten un 15% menos de CO₂. Aunque los vehículos pueden ser más livianos, la ventaja se pierde con vehículos más grandes, más rápidos y con más confort. Para cumplir estas normas, Volkswagen desarrolló la caja automática de 10 velocidades (Tiguan-2016). Según Volkswagen, por cada gCO₂/km de reducción se requieren 100 Mus\$ de investigación. Pero la misma Volkswagen se vio envuelta en un problema de fraude por la emisión de óxidos de nitrógeno (NOx) en el 2015 sobre automóviles diésel. En este caso se usó el software del Módulo de Control del vehículo que permite superar las pruebas de emisiones. El software activa el calentamiento del convertidor catalítico que actúa como una trampa de NOx para reducir las emisiones tóxicas. Cuando lo hace, consume más combustible, de forma que el módulo de control puede ahorrar consumo desactivando el filtro y emitiendo más contaminantes (entre 10 y 40 veces el límite de las normas).

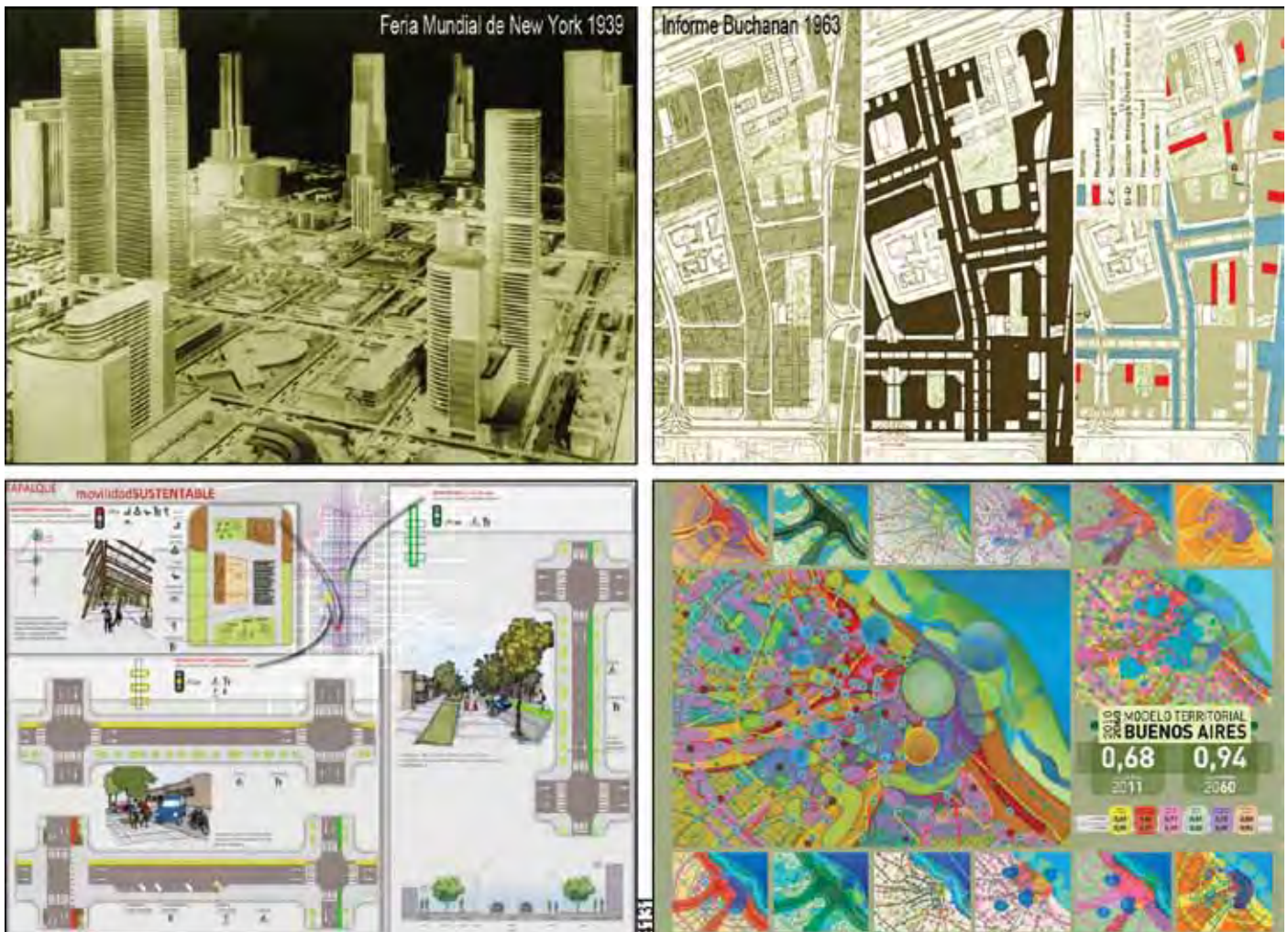
El caso Volkswagen muestra solo una de las trampas para moverse en la periferia de las normas (se trata de cinismo más que fraude). Otras "trampas" para reducir el consumo y las emisiones de CO₂ o NOx

son: desconectar el alternador para no cargar la batería; usar lubricantes de mayor eficiencia solo para los test; usar dibujos de neumáticos de baja resistencia; usar los neumáticos sobre-inflados para reducir la resistencia; emplear marchas más largas en la conducción; etc. Todas tienden a modificar las condiciones de conducción desde la vida real a los test de control. Se forma un triple engaño: económico (consumo, valor de reventa), de salud (enfermedades) y climático (contaminantes). Los óxidos de nitrógeno se relacionan con enfermedades respiratorias y cardiovasculares, así como las muertes prematuras. Son un subproducto de la quema de combustibles fósiles a alta temperatura en automóviles, plantas de energía o calderas industriales. En condiciones cálidas y soleadas pueden convertirse en ozono a nivel del suelo (smog).

Se estima que en la Unión Europea las emisiones reales de CO₂ fueron en el 2014 el 40% superior a los valores de laboratorio. Como en el 2000 la desviación se estimaba en 8% se llegó a concluir que existe una tendencia permisiva para adular los test. Se realizaron mediciones en carreteras con espectrómetros que analizan la luz y detectan la presencia de moléculas específicas. La conclusión fue que, aunque se aumentaron las exigencias, las emisiones se mantuvieron constantes en los últimos 15-20 años. Solo el 10% de los autos cumple

con las normas de emisiones Euro-6 (80 mg/km de NOx) y se miden valores 4 veces mayores, aunque es legal, dado que las pruebas en laboratorio no se corresponden con la vida real. Ahora, restringir la mirada sobre las emisiones de gases es una forma limitada de abordar un problema tan complejo como la movilidad y el transporte.

El Informe Buchanan. En la Feria Mundial de New York (1939) una maqueta del modelo de ciudad tenía los rascacielos centrales bordeados de autopistas, con el automóvil como medio de transporte hasta las áreas domiciliarias y comerciales en la periferia. Este modelo debió ser revisado por la falta de sostenibilidad. El Informe "Tráfico en las ciudades" de C. Buchanan (Inglaterra-1963), es el primero que advierte sobre el daño que produce el automóvil y presenta formas de planificar el transporte urbano. Se advierte sobre el crecimiento del parque automotor; sobre la reducción del uso del espacio público y la seguridad; sobre la necesidad de limitar el ingreso en las áreas céntricas para reducir la congestión. Agrega advertencias sobre el ruido, humo y la intrusión visual en las ciudades. Recomienda el uso de circunvalaciones externas a la ciudad, la concentración de negocios frente a áreas comunes como plazas; creación de recintos peatonales y señalización en el piso; uso de barreras peatonales; calles de un solo sentido y restricciones de ingreso; estacionamientos de varios pisos; etc.



4131. Movilidad sustentable. Hasta la II Guerra Mundial se pensaba en ciudades dominadas por rascacielos y autopistas (arriba-izquierda). En la segunda mitad del siglo XX se toma en cuenta una nueva forma de pensar las ciudades y la movilidad urbana desde el Informe Buchanan (derecha). El modelo presentado para la ciudad de Tapalque (provincia de Buenos Aires) es un ejemplo de integración de buenos conceptos de movilidad (abajo-izquierda). El modelo territorial para la ciudad de Buenos Aires toma en cuenta un plan a 50 años (derecha).

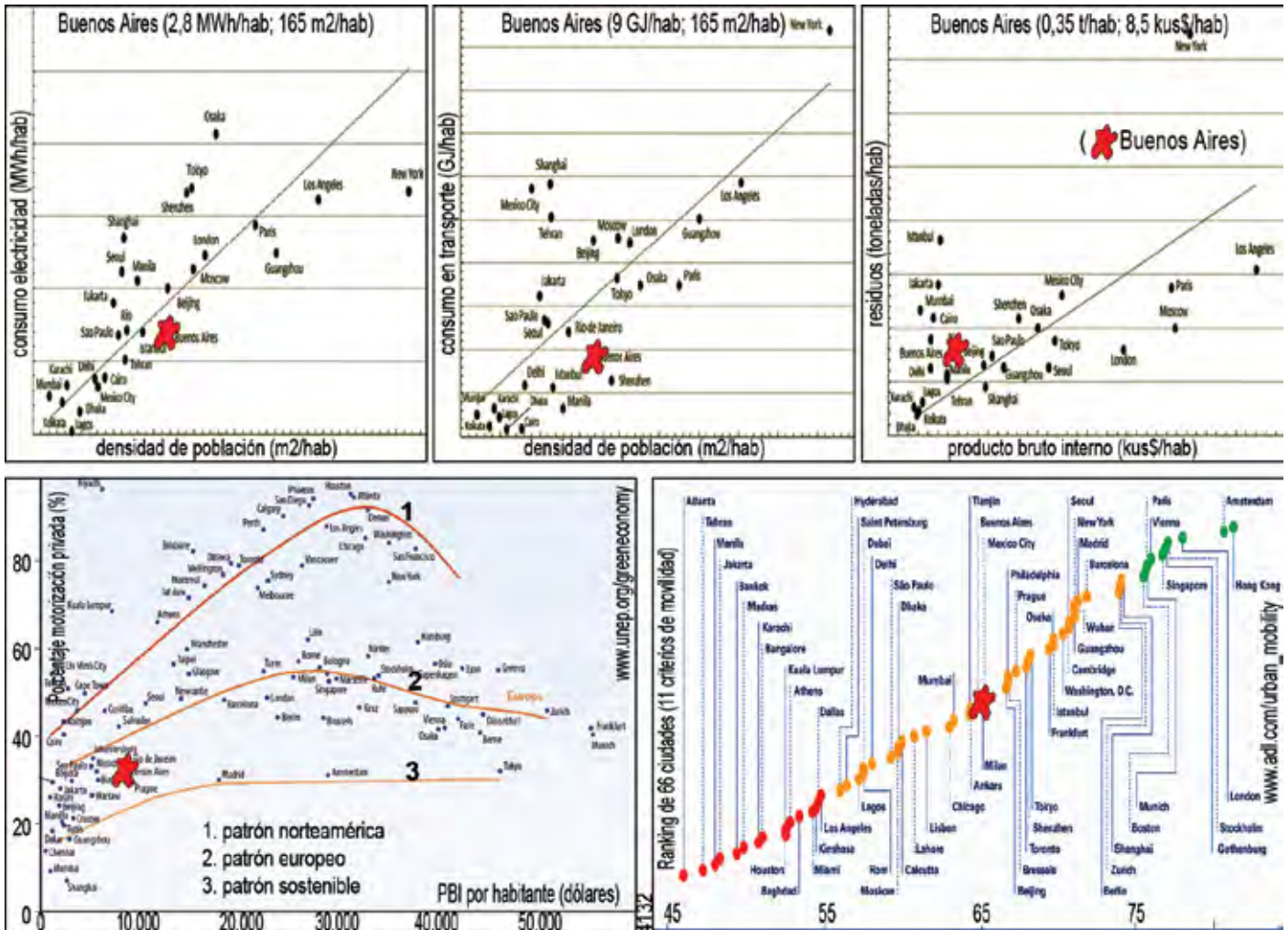
Con éxitos y críticas, fue el inicio en la búsqueda de soluciones. Los críticos hicieron hincapié en las denuncias de corrupción producto del trazado de carreteras; la falta de voluntad política para afectar intereses establecidos; el generar políticas para satisfacer más tráfico, a mayor velocidad y por lo tanto más peligroso.

Movilidad sustentable. En 1967, Suecia se adaptó a sus vecinos europeos y cambió el sentido de circulación de las calles. Para desconcierto se redujo las tasas de accidentes fatales a un mínimo. ¿Qué pasó? Quizás fue por la campaña de concientización, o por la reducción de velocidad inicial, o por la tensión de los conductores al cambiar de mano de circulación. Lo cierto es que hoy día Suecia tiene la tasa de muertes menor del mundo: 2,7 muertes por cada 100.000 habitantes a nivel nacional (16,9 en la Argentina) y 1,1 en Estocolmo (4,3 en Buenos Aires). La visión actual para una movilidad segura y sustentable es muy amplia. Se pueden mencionar los siguientes elementos a tener en cuenta: el consumo de combustibles fósiles; la polución acústica y visual; la contaminación del aire y sus efectos sobre la salud pública; el incremento del número de accidentes; la devaluación económica del vehículo y recambio por obsolescencia; la pérdida de igualdad en el uso de recursos comunes y limitados; la saturación de las vías de cir-

culación; los problemas para estacionar ocupando espacio público; la disuasión para el uso de la calle con otros fines; la pérdida de tiempo en los traslados pendulares diarios; etc. Algunas de las políticas públicas para mejorar la eficiencia en la movilidad dentro de las ciudades son las siguientes:

(1) Prioridad al peatón. La planificación y diseño urbanístico debe favorecer los medios no motorizados (peatones y bicicletas). Debe incentivar la mezcla de usos urbanísticos (diversidad) y aplicar la proximidad de servicios en las nuevas urbanizaciones (distribución). Se implementarán calles peatonales para estimular el uso público del espacio y mejorar las condiciones del ambiente. Esto reduce el sedentarismo, ya que impulsa el traslado a pie. Lo cual a su vez, descarga al sistema de salud pública de enfermedades debidas al stress. Contribuye también al aumento de la calidad de vida de una población con promedio de edad creciente.

(2) Sendas para bicicletas. Para favorecer medios no motorizados se crean carriles exclusivos para bicicletas. Se tomará en cuenta áreas de estacionamiento y la prevención de robos, así como un sistema de alquiler. En algunos países las bicicletas y buses comparten la mis-



4232. Ciudad de Buenos Aires. Los distintos gráficos muestran a la ciudad de Buenos Aires comparada con otras ciudades del mundo (en todos los casos se la indica con un asterisco rojo). Entre las 27 megaciudades con más de 10 millones de habitantes al 2010, Buenos Aires es una ciudad promedio, tanto desde el punto de vista del consumo de electricidad (arriba-izquierda), de combustible para transporte (centro) y generación de residuos (derecha). El Área Metropolitana considera 12,8 Mhab, con un ingreso de 8.500 dólares por habitante al año. El porcentaje de motorización privada en función del PBI por habitante sigue patrones para diferentes modelos de ciudades (abajo-izquierda) y Buenos Aires se encuentra en línea con un modelo sustentable. Un Índice de Performance de la movilidad urbana con 11 criterios de evaluación, coloca a Buenos Aires en el valor promedio (derecha).

ma senda. Los países escandinavos son pioneros en el desarrollo de autopistas para bicicletas con características similares a las de los automóviles: dos carriles por cada mano; entradas-salidas similares; protección contra viento; barreras que impiden el tránsito de peatones; recorridos siguiendo las redes ferroviarias.

(3) Transporte público. El modelo tarifario de transporte público debería evolucionar hacia abonos con tarifa plana. Como los desplazamientos domicilio-trabajo se hacen en un sentido por la mañana y en el otro por la tarde (pendular), la actividad del transporte público sigue una evolución con dos picos. Se asignarán vías de tránsito rápido para los buses para evitar el congestionamiento. Este sistema se aplicó por primera vez en Curitiba (Brasil 1974) y en Buenos Aires casi 40 años más tarde bajo la denominación de Metrobús. Pueden tener prioridad en las intercepciones; centros de intercambios de pasajeros que estén cerrados para los días inclementes; vehículos de mayor capacidad de puestos; etc. Se debe tender a reducir la contaminación mediante el uso de autobuses a gas, híbridos o eléctricos. Una alternativa son el trolebús y el tranvía en ciudades pequeñas y el subterráneo en las grandes. En el 2015, 20 ciudades de Latinoamérica (incluida Buenos Aires) sumando 120 millones de habitantes y 114.000 buses, se comprometieron a un cambio para el año 2020 con energías alternativas. Buenos Aires podría hacerlo con metrobuses eléctricos.

(4) Vehículos bajo consumo. Una ventaja del transporte público es que no ocupa estacionamiento, pero tiene horarios y recorridos preestablecidos que lo vuelven rígido. Por eso, el transporte privado (taxis o particulares) seguirá siendo necesario. Se aconseja subvencionar mediante impuestos segmentados la adquisición de vehículos de bajo consumo y emisiones y vehículos eléctricos o híbridos. Se debe favorecer la movilidad responsable y fiscalizar el uso para evitar el fraude.

Pacificación del tránsito. Las calles se volvieron “hostiles” y el uso de automóviles quitó gran parte del espacio público común. Hace 50 años, en muchas calles que hoy están ocupadas por el tránsito, era posible jugar sin peligro. Para recuperar en parte el espacio público es necesario “pacificar” y devolver a las ciudades un ámbito a “escala humana”. Una medida de pacificación es reducir la construcción de vías que aumentan la capacidad de tráfico automotor (vías rápidas urbanas), lo cual disuade al conductor y favorece los medios no motorizados. Se debe cambiar el paradigma desde “mover automóviles” a “transportar personas”.

Algunas estrategias a tener presentes son: reducir las velocidades altas; crear condiciones que obliguen a conducir con cuidado; restricciones en la circulación de vehículos comerciales y enfocarse en la reducción de accidentes. La seguridad aumenta si se regula o impide el uso del automóvil en las zonas centrales mediante tarifas de congestión (el automóvil particular solo para viajes largos); mediante el uso de restricciones horarias o días vedados para el acceso a centro urbano; con reductores de velocidad sobre el pavimento; acotando el ancho en las esquinas y con menor curvatura; elevando los pasos peatonales; con refugios para peatones en el centro de las avenidas; con carteles indicadores de medición de velocidad; mediante semáforos activados por excesos de velocidad; etc. En todos los casos el objetivo es que el movimiento vehicular se ralentice y contribuya a la seguridad vial.

Algunas ciudades implementaron la reducción de carreteras para mejorar el tránsito. Se lo llama “demanda inducida” que es la acción

para organizar, incentivar y orientar el uso de un servicio. Siguiendo a la Paradoja de Jevons, si aumentamos el suministro de carreteras aumentará el tránsito privado y lo que se busca es incentivar el transporte público. También se ha definido una Norma TOD (*Transit Oriented Development*) con 8 principios: caminar (red peatonal segura, templada y cómoda); pedalear (red ciclística completa con accesos y almacenaje); conectar (rutas cortas para peatones y bicicletas y largas para automóviles); transporte público de alta calidad (accesible a pie); mezclar (diferentes usos del suelo, residencial, comercial, expansión); densificar (optimizar la densidad y capacidad del transporte público); compactar (regiones compactas con viajes cortos) y cambiar (regular el uso de calles y estacionamientos).

Políticas de congestión. La congestión de tránsito es una externalidad negativa sobre la productividad. Una medida de disuasión son las “Tarifas de Congestión” (Singapur 1975). Es un mecanismo de ajuste de precios (tarifa más alta) en horas pico cuando la oferta del bien público es insuficiente para satisfacer la demanda en ciertos lugares. Se introduce un cargo donde hay congestión y el recurso común se percibe como si fuera gratuito. Se utiliza para optimizar la infraestructura del sector transporte (carreteras, puertos, aeropuertos). El objetivo es lograr que los usuarios sean más conscientes de los costos y estén obligados a pagar por la congestión que generan. Es una penalidad económica para inducir una distribución espacial y temporal de ese exceso de demanda. Esta política no está libre de objeciones: una se refiere a donde se destinan esos ingresos (rentas generales o infraestructura vial); otra es cómo se fija el precio óptimo; también genera un problema de desigualdad obligando a cambiar al usuario de menores ingresos; produce resistencia política y social; tiene un impacto sobre el comercio establecido que normalmente se opone.

En el caso del Canal de Panamá se implementó un sistema de “Reservas de Cupo” que se hace por internet y cuesta un 15% más. A cambio no se ingresa en el sistema “primero que llega, primero que sale”. Este sistema también se aplica en los aeropuertos que están muy congestionados. El primero en aplicarlo fue en New York en 1968. Londres logró disminuir las emisiones y el consumo de energía, cuando estableció una “zona de peaje urbano”, que es una estructura de tarifas ligada a las emisiones. Restringió la circulación de vehículos de carga dentro del centro de la ciudad y permitió que los vehículos eléctricos viajen de forma gratuita en la zona.

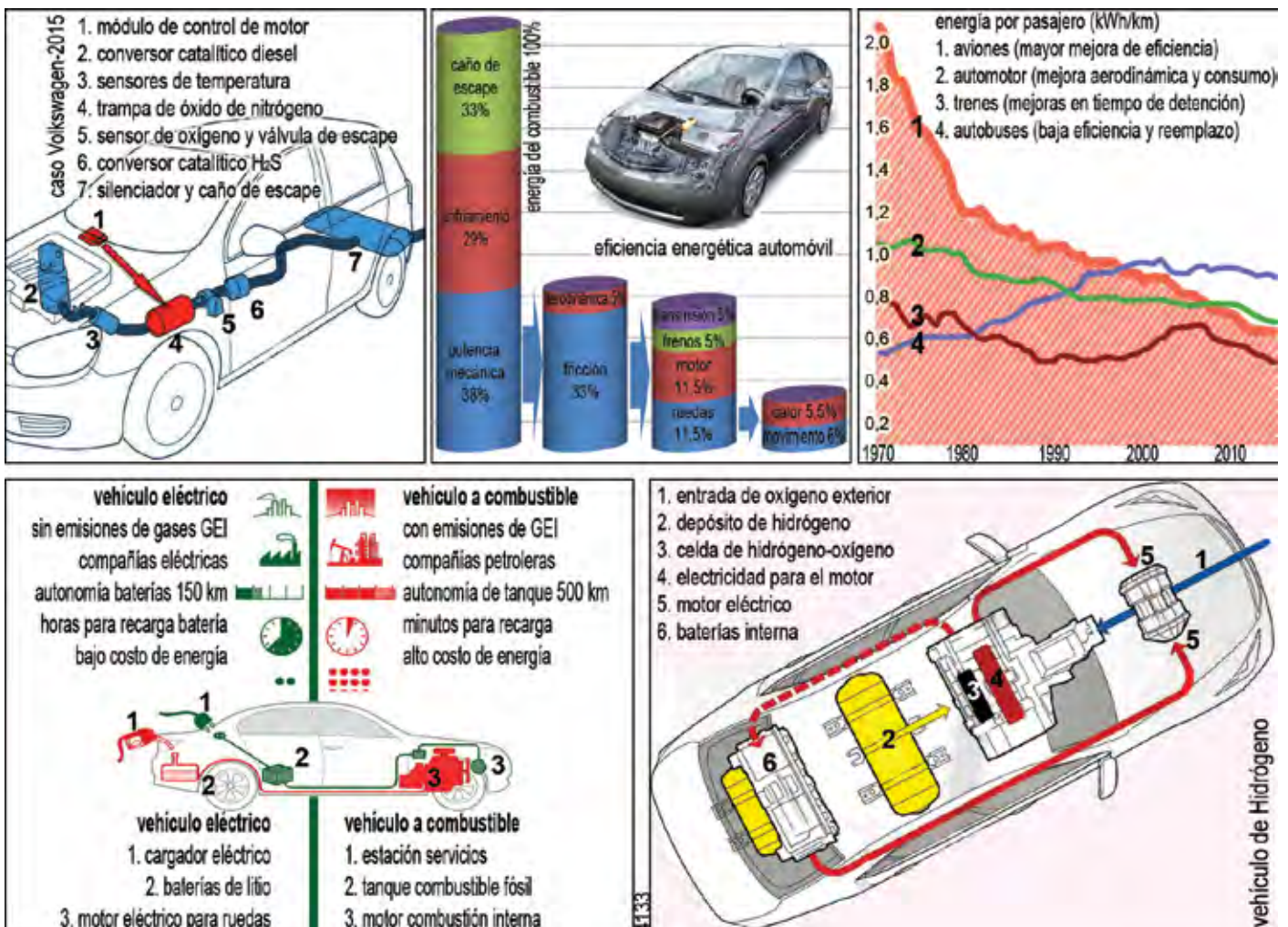
Más equitativo es el “racionamiento del espacio vial”; por ejemplo, “patentes pares, días pares”. Restringe de igual forma a todos los usuarios, siendo de aplicación obligatoria y no disuasiva como las tarifas. Se utilizó para disminuir la congestión vehicular y la contaminación atmosférica cuando el combustible era más contaminante por el uso de plomo como aditivo. El objetivo es mejorar la calidad urbana y preservar el patrimonio histórico del centro de las ciudades. Otra alternativa ensayada es la utilización de un sistema de comercio de “derechos (bonos) de circulación”. Es un racionamiento por el que se distribuyen bonos que dan derecho al uso para días o kilometraje de circulación. Se usa para pagar por viajes en horas pico y se puede utilizar en el transporte público. Además, se pueden vender los derechos que no se usan a otros usuarios. El ahorro del consumo en transporte es recompensado en forma económica al usuario final.

En París se espera prohibir los vehículos diesel para el 2020. Las políticas de disuasión anteriores lograron reducir la proporción de ciu-

dadanos con automóvil del 60% en el 2000 a 40% en el 2013 (estacionamiento caro, multas elevadas, zonas prohibidas). En un principio, los motores diesel fueron subvencionados por emitir menos CO₂. Pero hoy no se tolera las emisiones de dióxido de nitrógeno NO₂ y micropartículas. En diciembre del 2013 las mediciones de contaminación del aire equivalían a respirar en una habitación de 20 m² con 8 fumadores. Los que se oponen indican que será un costo muy alto para quienes viajan a diario al interior de la ciudad desde la periferia.

Conducción Eficiente (ecodriving). Este concepto incluye consejos que pueden mejorar la eficiencia y reducir las emisiones de CO₂. Los lineamientos incluyen: (1) Mantenimiento: revisión de presión de neumáticos, alineación de ruedas, aceite de motor, etc. Los neumáticos desinflados disminuyen la seguridad y aumentan el consumo. Uso de combustible con octanaje adecuado. (2) Reducción de masa y mejora aerodinámica: eliminar la carga innecesaria en el interior

y los elementos externos que aumentan la fricción con el aire. Minimizar las pérdidas adicionales como el uso de ventanillas abiertas (pérdida de aerodinámica) o aire acondicionado. (3) Velocidad eficiente: la primera marcha solo se usa para mover el vehículo; cambiar de marcha a las 2.000 rpm y conducir a bajas revoluciones. Mantener la velocidad constante reduciendo las aceleraciones o frenadas. Prever los movimientos del tráfico a futuro, anticipándose a las frenadas (los automóviles híbridos recuperan la energía durante la frenada); "actuar en lugar de reaccionar". (4) Uso de inercia o "vuelo" sin motor. Se usa el cambio en punto-muerto (ralentí) y con el pedal de embrague pisado. Frenar en forma suave, sin rebajes de marcha. (5) Minimizar el tiempo detenido o de conducción a baja velocidad por congestiones. Una ruta alternativa más larga con menos congestión será más económica. Compartir el viaje maximizando la cantidad de ocupantes. (6) Manejo a la defensiva: suponer que el otro podrá hacer movimientos imprevistos; dejar espacio suficiente con el vehículo que está delante;



4133. Eficiencia y nuevos vehículos. Para reducir las emisiones de los automóviles de gasolina se debe sacrificar eficiencia. En el 2015 se puso en evidencia una forma de eludir los controles de emisiones por parte de Volkswagen en vehículos diesel (arriba-izquierda). Consistió en que el módulo de control (1) cortaba la alimentación del calentador de la trampa de óxidos de nitrógeno (4). La eficiencia de un automóvil es muy baja (centro), de forma que por cada unidad de energía de combustible solo el 6% se transforma en movimiento. El resultado es aún menor si se piensa en que solo el 10-20% de la carga útil del vehículo corresponde a pasajeros. La eficiencia en el transporte (derecha), medida como energía consumida por unidad de distancia, tiene poca mejora a lo largo del tiempo. Desde 1970 el transporte aéreo es el que más ha mejorado en eficiencia, pero el resto lo hace muy poco. Una comparación entre el automóvil de combustión y el eléctrico (abajo-izquierda), muestra las ventajas y desventajas de cada tipo. El automóvil eléctrico tiene desventajas desde el punto de vista de autonomía y tiempo de recarga. Otra alternativa es el vehículo a hidrógeno con motores eléctricos activados mediante celdas de combustible que funcionan con oxígeno e hidrógeno (derecha). Además, se carga una batería que también acciona al motor eléctrico en condiciones apropiadas. El ITBA y Mercedes-Benz planifican un vehículo de transporte de pasajeros híbrido de hidrógeno-eléctrico para la Argentina. Es un proyecto de una década que espera reducir el ruido de los actuales 80-90 dB a 10 dB sin emisiones de gases GEI.

reducir el uso de bocina (mínima contaminación sonora); no "educar" a los demás mediante bocinazos. Tener en cuenta que un vehículo a 4.000 rpm (revoluciones por minuto) produce ruido por 32 vehículos a 2.000 rpm.

Vehículos más eficientes. Como alternativas a los vehículos a nafta o diesel se tienen: (1) Vehículos a gas natural: son menos contaminantes pero sigue siendo un combustible fósil. (2) Vehículo a bioetanol o biodiesel: son de origen biológico (agrícola) y menos contaminantes, pero de muy baja eficiencia energética. (3) El vehículo híbrido incorpora al motor de combustión, uno o más motores eléctricos para mejorar la eficiencia. (4) Los vehículos eléctricos puros pueden tener diferente impacto ambiental dependiendo de donde proviene la energía eléctrica. (5) El vehículo a pila de hidrógeno es el menos contaminante pero los problemas aún por resolver son muchos.

El vehículo híbrido es una combinación del motor de combustión interna y uno eléctrico. Logra una buena eficiencia debido a que utiliza el impulso eléctrico solo cuando las condiciones lo permiten. Recupera energía cuando se frena cargando las baterías, de forma que el frenado no se disipa en calor. Tiene mayor autonomía y el tiempo de recarga de las baterías es más corto que el vehículo eléctrico puro. En recorridos cortos (urbanos) puede funcionar sin usar el motor a combustión.

El vehículo eléctrico puro tiene ventajas y desventajas. No produce contaminación sonora y el mantenimiento de un motor eléctrico es mucho más simple que el de gasolina. Es muy eficiente y tiene una aceleración mayor debido a que no tiene un mecanismo de marchas (caja de cambios). La eficiencia es del 80% si la energía eléctrica proviene de celdas solares o del 40% si proviene de una central a gas. Un motor a gasolina tiene una eficiencia menor al 10%. Solo la recarga eléctrica desde fuentes renovables no son contaminantes. Además, el uso de motores individuales en cada rueda, en lugar de un único motor eléctrico, proporciona mejor estabilidad en las curvas.

Las desventajas son el costo de adquisición (varias veces mayor al convencional) y el peso completo del vehículo (debido a las baterías). Esto también reduce el espacio habitable. Tienen menor autonomía y las baterías para 400 km de autonomía tienen alto costo y requieren 9 horas de recarga. El tiempo se reduce si se cambia el pack completo al momento de recarga, pero se requiere compatibilidad en todos los puntos de reposición. Las baterías son elementos contaminantes que deben ser recicladas al fin de la vida útil. El uso de la energía eléctrica domiciliar para la carga producirá un fuerte stress sobre la red de distribución de energía. Esto aumentará el costo del kWh en los domicilios, afectando a toda la población, incluso a quien no usan automóviles eléctricos.

Otra posible solución son los vehículos de hidrógeno con una pila de combustible. La pila de combustible requiere una carga de H y utiliza el oxígeno del aire. El resultado de la combinación de H y O es energía eléctrica, siendo el remanente vapor de agua. Es un vehículo no contaminante. Sin embargo, los problemas vienen del lado de la provisión de H (requiere tanques grandes y centros de aprovisionamiento) y por los materiales para el armado de las pilas. El H se obtiene por hidrólisis desde el agua o metano, y debe almacenarse en forma líquida a -253 °C. El problema de la sustentabilidad siempre se remite al origen: ¿de dónde proviene la energía eléctrica para la hidrólisis?

Además del reemplazo del carburante por electricidad otra necesidad es la reconversión de los neumáticos. La primera fuente del caucho (isopreno derivado del látex de la savia) provenía de los árboles. Con el aumento del consumo se desarrolló un caucho sintético derivado del petróleo. Para eliminar esta dependencia se está trabajando para licuar el isopreno que generan las plantas en forma de gas. Se usan algas transgénicas para producir isopreno encerradas en tanques de los cuales se extrae el gas, luego se separa del resto de gases y se licúa. El problema, como es común en los casos de bacterias transgénicas, es como se alimentan y que el costo sea inferior al proceso actual derivado del petróleo.

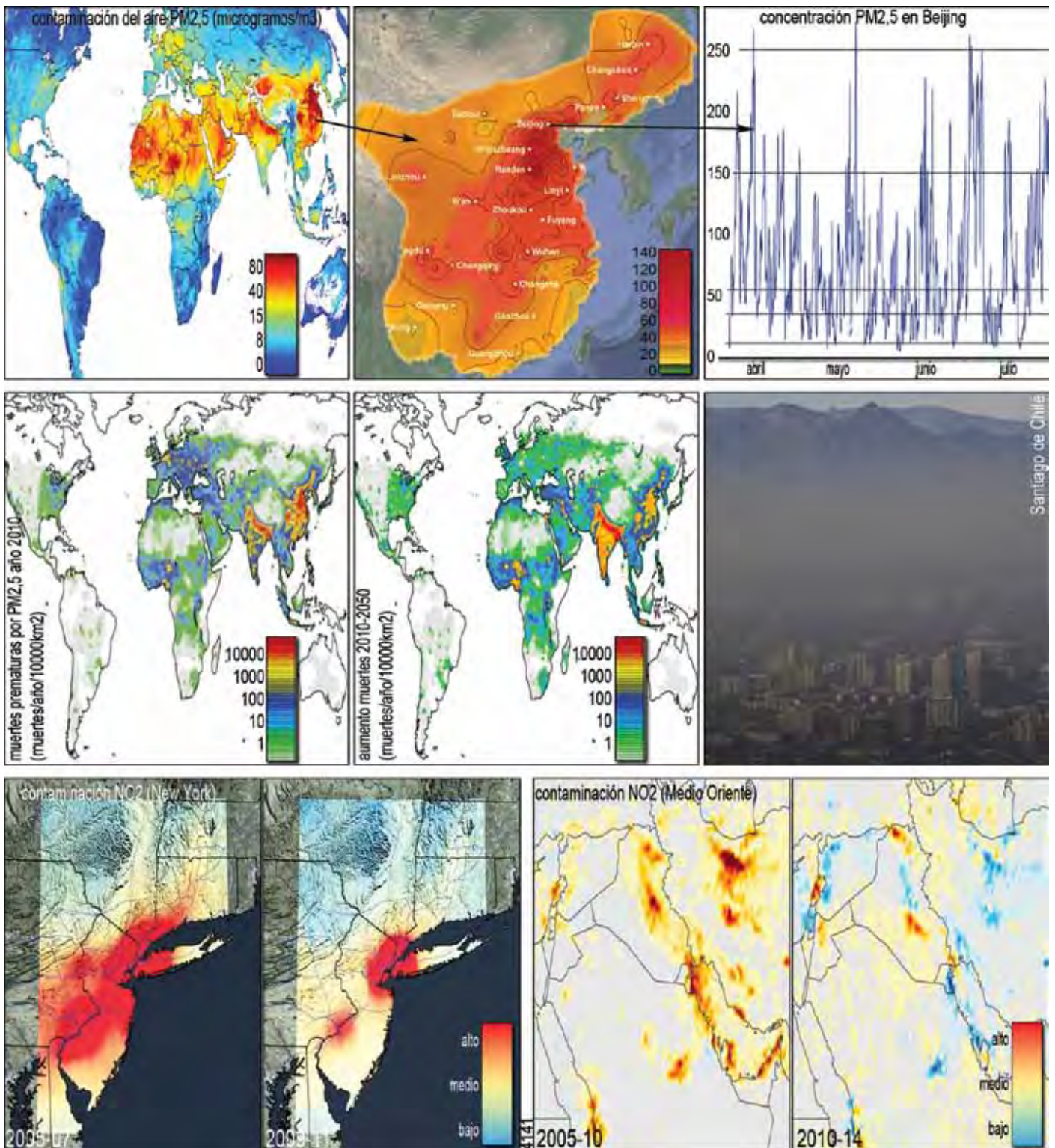
El arcoíris de la contaminación urbana

Una ciudad está aislada de la naturaleza y la ausencia de depuración natural es una causa de aislamiento. Los contaminantes son de origen físico, químico, energético, biológico, e incluso genético y radioactivo; puede ser una sustancia natural o artificial, pero siempre en exceso. La contaminación, a pequeña escala, existió desde el inicio de la cultura humana. El hollín en las cuevas prehistóricas (Altamira-España) conserva la contaminación interior debido a la inadecuada ventilación de las fogatas. En las momias se encontraron pruebas de envenenamiento en los pulmones. El estudio de los hielos de Groenlandia, que analiza las burbujas de aire encerradas, muestra como la contaminación empieza con la forja de los metales (griegos, romanos y chinos).

(1) La contaminación del aire. En las ciudades el aire está sobreexplotado. Los gases contaminantes más comunes son el monóxido de carbono; el dióxido de azufre que produce lluvia ácida; los CFC (clorofluorocarbonos) asociado a la reducción de la capa de ozono; los óxidos de nitrógeno y los gases efecto invernadero. Muchos de

estos contaminantes son globales y llegan más allá de las ciudades. Son producidos por el consumo de combustibles fósiles y la industria. El Protocolo de Montreal limitó el uso de CFC que consume la capa de ozono. Se estima que sin esta prohibición el hueco de ozono habría aumentado un 40% entre 2008 y 2014 y el hueco del Ártico sería más evidente. La industria química adoptó el "negacionismo del ozono" que consistió en negar que el CFC fuera el causante, luego dijo que el efecto era menor y más tarde alegó dificultades para sustituirlo. Fue la primera vez que se enfrentó un problema global. Hoy día el "negacionismo de los combustibles fósiles", presenta a una industria mucho más poderosa y que invierte mucho más dinero en fundamentar la negación.

En el aire también se encuentran partículas suspendidas (smog) que se miden por el tamaño en micrómetros. Si bien no existe una unidad de medida internacional sobre calidad del aire, en Estados Unidos se definió la escala AQI (*Air Quality Index*), como indicador entre 0 y 500 (microgramos/m³). Los valores superiores a 300 se consideran



4141. Contaminación del aire. El mapa de contaminación por aerosoles menores a 2,5 micrómetros por m³ (arriba-izquierda) incluye las partículas naturales (desiertos, como Sahara) y de origen antropogénico (industriales). En China (centro) la concentración de partículas PM_{2,5} se focaliza con centro en Beijing. El diagrama de variación en el tiempo (derecha) muestra las fluctuaciones en 4 meses. Estas partículas producen enfermedades respiratorias (centro-izquierda) y se cobran cerca de 3,3 millones de muertes prematuras al año en el planeta (6% del total). Además, se estimó que se duplicará para el 2050 (centro). China tiene el record con 1,4 millones, pero el que más crecerá es India debido al consumo de carbón. La primera causa global es el uso de carbón para calefacción (30%) y luego la agricultura (20%). Las ciudades encerradas, como Santiago de Chile (derecha), pueden tener en otoño un período de elevada polución por la industria y transporte. Durante la Copa América de Fútbol del 2015 en Santiago, se llegó a un record de contaminación debido a que los días de futbol la gente hacía asados con carbón. Otro contaminante industrial en ciudades es el dióxido de nitrógeno NO₂. La región de New York logró reducir la contaminación de NO₂ un 30% en 5 años gracias a las medidas regulatorias (abajo-izquierda). En Medio Oriente también se observa una reducción (derecha) pero las causas son otras: problemas políticos y guerras que redujeron la actividad.

perjudiciales para la salud. En ciertas condiciones climáticas el aire se estanca (anticiclón, inversión de temperatura, ausencia de viento) y aumenta la concentración de partículas y la bruma. El índice AQI mide las partículas finas en suspensión (menos de 2,5 o 10 micrómetros) en un metro cúbico de aire. El umbral de PM_{2,5} micrómetros se define con partículas respirables, que superan las barreras de la nariz y garganta y llegan a los pulmones. El incremento del índice aumenta la probabilidad de cáncer de pulmón, problemas circulatorios y del corazón. Las partículas inferiores a 2,5 micrómetros producen efectos asintomáticos y difíciles de separar del tabaquismo. Por ejemplo, en Chile se redujo el umbral de medición desde PM₁₀ a PM_{2,5} en el año 2015. Este material particulado fino es responsable de 4.000 muertes al año. Las principales causas son los vehículos diesel en Santiago y la calefacción a leña en Temuco. En el 2014 el umbral de la norma europea PM_{2,5} se superó 125 veces en Santiago, casi a la par que Pekín.

Un ejemplo más dramático es China. Varias ciudades sobrepasan regularmente la escala AQI de 300. En el 2013 una tormenta de polvo y smog en Beijing, llevó el nivel a 516 y en lugares puntuales a 755. En la ciudad de Harbin los valores fueron superiores a 1.000. Las contramedidas fueron suspender el transporte y las actividades públicas, pero las causas (consumo de carbón para generar energía y calefacción) son de larga duración. En el 2014, China logró mejorar el aire mediante controles estrictos en el uso de carbón en calefacción y depuradores industriales. Así, redujo en 31% el índice PM_{2,5} en la provincia de Hebei (incluye Pekín). Gracias a las acciones gubernamentales, el consumo de carbón en el 2014 cayó el 2%, aunque la economía creció el 7,4%. China consume la mitad del carbón a nivel global, en tanto solo representa el 16,5% del PBI global (desde este punto de vista es la mayor economía mundial). Si la tendencia se mantiene sería el "pico de carbón". China está aplicando la gasificación del carbón, una técnica que usó Alemania en la II Guerra Mundial para obtener combustible líquido desde el carbón para tanques y camiones. Pero, mucho del carbón usado es lignito de baja calidad que es contaminante y poco productivo en términos energéticos. Aún más grave es Delhi (India), la ciudad más contaminada del planeta con un índice de 125 (microgramos/m³ de partículas PM_{2,5}) como promedio anual. Es 6 veces mayor al límite de la OMS y las causas son: plantas de energía a carbón, quema de campos, uso de leña para cocinar y vehículos diesel. Cerca de la mitad de los niños en edad escolar padecen daño pulmonar irreversible.

En 2008, unos 3,4 Mm³ de madera fueron retirados de los bosques y más de la mitad se usó como combustible para calefacción y cocina. En Asia, el 76% de la madera se utiliza como combustible y en África es el 90%. Corea del Sur recicla el 85% del papel, pero Estados Unidos el 50% y China sólo el 35%. Corea del Sur en la década de 1960 inició una campaña de reforestación para cubrir sus laderas deforestadas y hoy los bosques cubren el 65% del país. En Níger, la plantación de árboles por los agricultores redujo la erosión del suelo y revitalizó las comunidades antes con graves sequías y desertificación. El uso de biomasa en calefacción es un problema de larga data.

(2) La contaminación del agua. Desde las ciudades se liberan residuos contaminantes mediante el agua. Son sólidos o líquidos; orgánicos o inorgánicos; son de uso familiar, comercial e industrial. Se encuentran agentes patógenos (virus, bacterias, protozoos y parásitos); sustancias químicas (ácidos, sales, minerales tóxicos); sustancias orgánicas (petróleo, plásticos, plaguicidas, detergentes); sedimentos

del suelo; materia suspendida (insolubles); sustancias radioactivas (solubles) y agua caliente de refrigeración. Los residuos contaminan las capas subterráneas y los ríos y se convierten en desechos fluviales que eutrofizan las aguas estancas. Se agregan los derrames de petróleo en las refinerías cercanas a las ciudades.

En Suiza se investigó el lago Ginebra, y pese a la conciencia ambiental y las estrictas normas del gobierno, se encontraron concentraciones de plástico equivalente al Mediterráneo. En 41 peces capturados para el estudio encontraron restos de plástico. La alarma (*Archive des Sciences-2013*) es considerada importante ya que ocurre en lugares muy vigilados. En el otro extremo se encuentra el Riachuelo, un emblema de manejo irracional de un recurso común. En la India, la mitad de la población no tiene cloacas y la mayoría de los que disponen los residuos se depositan en los ríos sin tratar. Es frecuente la mezcla entre el agua "potable" usada en los hogares y las aguas servidas. El río Yamuna que atraviesa Delhi, en ciertos momentos del año solo fluye por el aporte de aguas servidas.

Junto con la calidad del agua en el ambiente natural, cuyas normas dependen del lugar y uso (riego, pesca, uso deportivo), se encuentra el agua potable, de valores muy estrictos. Las normas indican los niveles de sustancias que afectan a la salud y las cualidades estéticas, que afectan al sabor, olor y apariencia. La calidad del agua ambiental se mide en términos de temperatura, pH, oxígeno disuelto, conductividad, turbidez, etc. Pero, para el caso del agua potable son importantes el sabor, los metales disueltos, la presencia de microorganismos, etc. Otro tipo de agua son las residuales, provenientes de desagües (grises) y cloacas (negras). La contaminación fecal desde las cloacas puede llegar a las playas y aguas subterráneas.

En la ciudad de Buenos Aires en el 2014 se clausuró el Club Hípico Alemán. Cada caballo genera 5 kg de bosta diaria y se comprobó que no eran tratadas adecuadamente, de forma que las aguas contaminadas se mezclaban con la red pluvial. En la misma línea el Lawn Tennis Club fue clausurado por verter desechos cloacales y polvo de ladrillo hacia los sistemas de desagüe pluviales. Estos residuos contaminan las aguas del Río de la Plata y capas subterráneas, por lo que pueden regresar al consumo mediante el riego y el agua potable. Se suma el problema que generan las heces de perros lavadas desde las aceras hacia los desagües pluviales. Las heces de gatos son un problema cuando deambulan y quedan en los techos o jardines. Un ejemplo interesante es la contaminación generada por una colilla de cigarrillo: el resto de un cigarrillo inmerso en 1 litro de agua por 3 días, lixivia toxinas como para matar los peces que se exponen a ella.

(3) Contaminación farmacológica. Un residuo de reciente descripción es el farmacológico. Llegan al agua por diferentes causas: (1) desde la ducha por dilución de shampoo y fragancias; (2) desde la orina y excrementos; (3) desde descartes en hospitales y hogares de ancianos; (4) por la natación desde los protectores solares; (5) desde los tratamientos veterinarios, del uso de hormonas o prácticas agrícolas; (6) directamente por pérdidas en las plantas farmacéuticas.

El primer caso se encontró en Kansas (1976) con nicotina, cafeína e ibuprofeno en las plantas de tratamiento de aguas. Pero recién 20 años más tarde se le dio importancia al detectar otras drogas en las capas subterráneas en Alemania. Se desconocen los efectos a largo plazo del consumo permanente de drogas en baja concentración proveniente

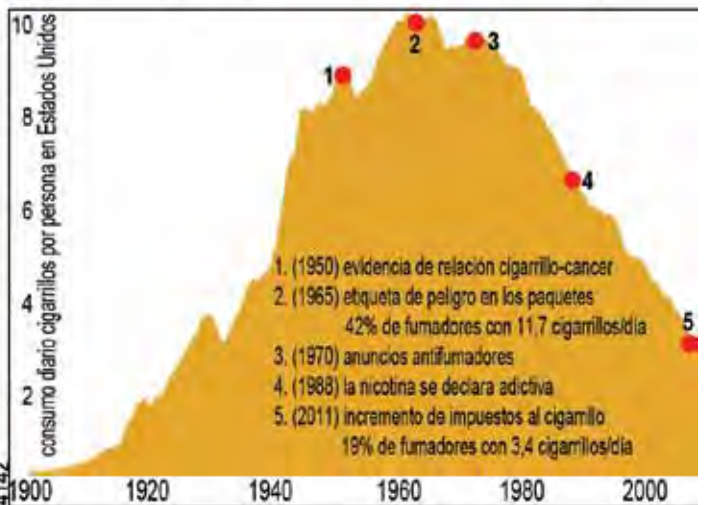
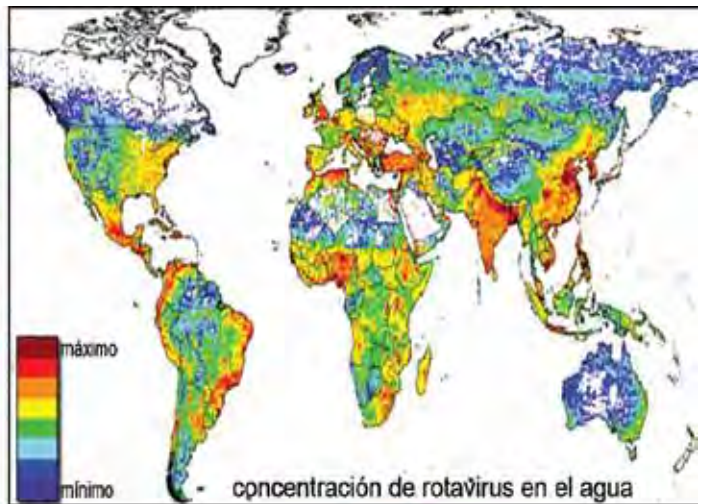
del reciclado de las aguas residuales. La solución pasa por reducir el consumo de fármacos y por un tratamiento de las agua más profundo que aún no está disponible. Se estima que se eliminan cerca del 40% de estos residuos; pero el 50% de los fármacos son usados en forma inapropiada (según la OMS).

Los efectos sobre la vida silvestre son variados. Por ejemplo, los anticonceptivos son la causa de un desbalance hormonal sexual en los peces que altera la capacidad reproductiva de los machos. En Burdeos y el río Sena en Paris, se encontraron residuos de Ibuprofeno y Prozac. El antidepresivo Prozac es responsable de la falta de apetito en las aves que se alimentan cerca de las plantas depuradoras de aguas residuales. Se sospecha que redujo el 60% de los estorninos de Inglaterra debido a la droga fluoxetina, que se absorbe cuando comen lombrices y afecta al cerebro de las aves. En el río Hoje (Suecia) se encontró diclofenaco, junto con otras sustancias. El diclofenaco es la causa de la casi extinción de los buitres de la India porque les causa daño renal irreparable. Antes de detectar la verdadera causa de la muerte de los buitres se culpó a la reducción de cadáveres de vacas (la carroña que los alimenta); la reducción de riscos donde se reproducen; los pesticidas y un virus infeccioso. Finalmente se encontró que el origen era el

diclofenaco aplicado al ganado vacuno. El diclofenaco también reduce el crecimiento en rábanos y mejora en la lechuga, en tanto que el ibuprofeno tiene un efecto opuesto. En Estados Unidos, a la salida de algunas industrias farmacéuticas la concentración de drogas se midió 1.000 veces mayor que en otros lugares.

Otro problema es que los desechos de antibióticos estarían produciendo bacterias resistentes. En la India, la liberación de ciprofloxacina desde la industria farmacéutica generó cepas de *Salmonella* resistentes a los antibióticos que se incorporan a los alimentos mediante el agua de riego. En Arizona se investigó un humedal recargado de aguas residuales durante 30 años. El resultado fue una resistencia de las bacterias a los antibióticos varias veces superior a otro humedal cercano, pero sin exposición a aguas residuales. Otros contaminantes son el champú y los desinfectantes.

De un tenor diferente es la contaminación del agua proveniente de laboratorios clandestinos de drogas en las selvas o del consumo en las ciudades. Las mediciones en aguas residuales mostraron que en Zurich se consume 1,6 kg de cocaína diarios. En cambio, en Oslo se midió principalmente metanfetamina, en tanto el éxtasis es preponderante



4142. Contaminación del agua. La contaminación del agua ocurre desde las ciudades, industrias y campos (arriba-izquierda). La densidad de rotavirus es un indicador que alerta sobre el vuelco de aguas residuales sin tratamiento. Se muestran las áreas en el mundo con mayor concentración (derecha). El rotavirus es un patógeno de las aguas residuales humanas y produce 450.000 muertes en el mundo por año. El modelo de la figura proporciona una cuadrícula que ayudó a detectar los "puntos calientes", donde las fuentes de emisión eran mayores. El circuito de medicamentos aporta una baja concentración al agua potable (abajo-izquierda). Pero, los peligros no están convenientemente evaluados y puede ocurrir como con el tabaco en el pasado (derecha). El consumo de tabaco aumentó durante la primera mitad del siglo XX hasta que se encontró la relación con el cáncer de pulmón y se redujo durante la segunda mitad del siglo.

los fines de semana (es una "droga recreativa"). La marihuana es importante en París. La forma de evaluar el consumo de drogas mediante las aguas residuales parece más precisa al momento de cuantificarlo. Con el tabaco el problema es diferente. La nicotina se usó como insecticida hasta que en el 2009 se prohibió por su toxicidad en Europa. Se encontró que las plantas pueden absorber nicotina del suelo y procesarla en las hojas. Se trata de una transferencia de alcaloides entre plantas. El problema es que en Alemania se encontró contaminación de nicotina en plantas medicinales e infusiones de hierbas (menta).

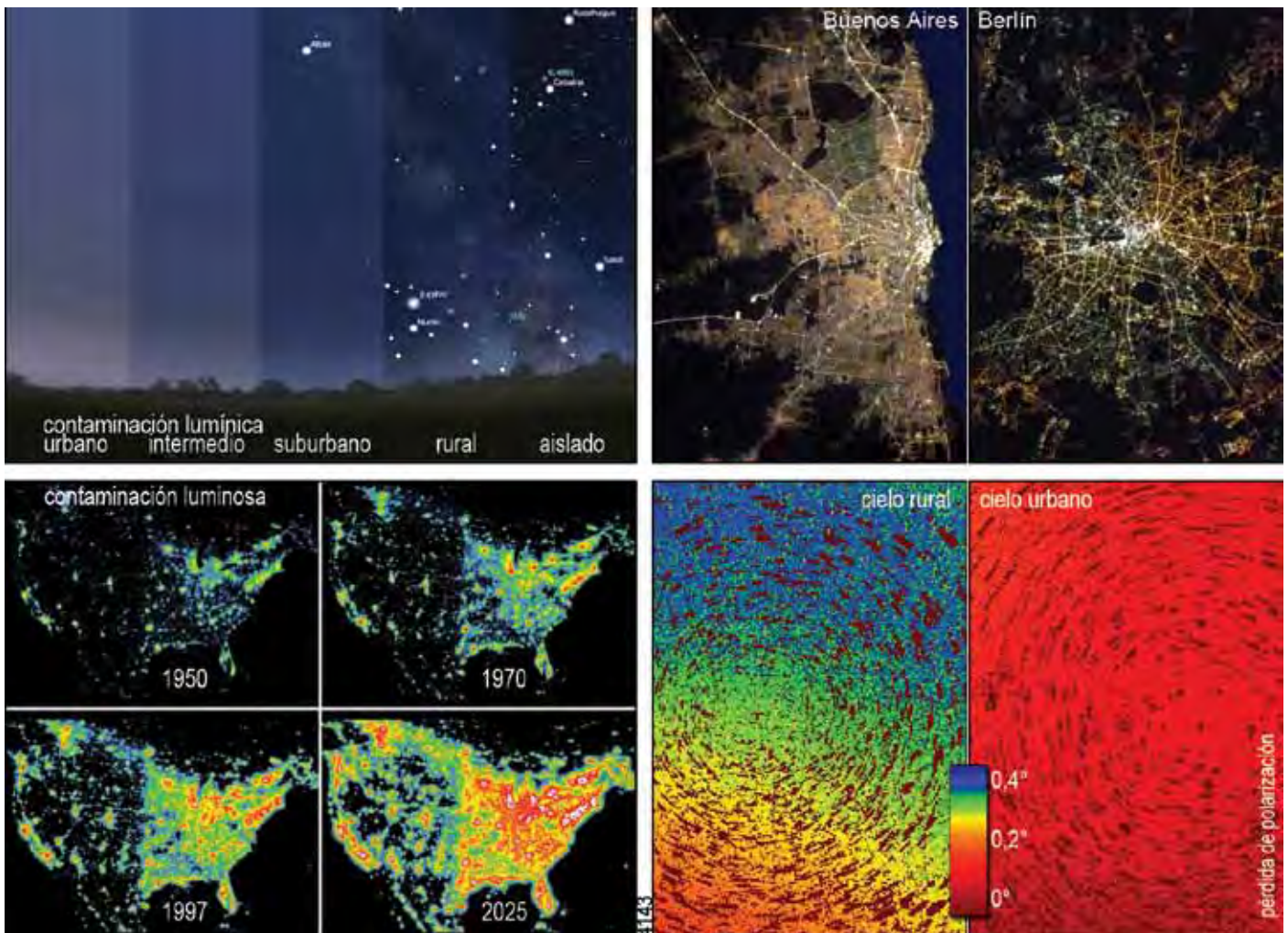
(4) La contaminación del suelo se produce por productos químicos que se filtran desde la actividad industrial y basurales. Los principales son los hidrocarburos y derivados; metales pesados; lixiviados desde los basurales y rellenos sanitarios; herbicidas e insecticidas; etc. Las ciudades producen basura que escapa al tratamiento y en los vertederos a cielo abierto la basura se dispersa. Un tipo de contaminación es la meteorización de los materiales de construcción de las demoliciones. También se midió contaminación derivada del derrame diario crónico de combustible desde las estaciones de servicio.

Casi todos los productos se degradan, aunque sea muy lentamente. Los plásticos tardan desde 10 años (bolsas delgadas) hasta 500

años (botellas y envases); las latas de aluminio tardan 200 años; los empaques de cartón unos 3 meses, pero un periódico la mitad; el polietileno expandido (*telgopor*) tarda 50 años; a una manzana le lleva 2 meses degradarse. Casi todos consumen oxígeno del agua y reducen las probabilidades de vida natural.

En Estados Unidos se tiene una contaminación especial con la sal usada para eliminar la nieve de las ciudades y carreteras en invierno. Los estudios de largo plazo encontraron que el aumento de la salinización de suelo, los ríos y lagos sigue la misma curva que el uso de sal para derretir nieve en las carreteras. Los efectos son variados: reducción de biodiversidad (peces y anfibios); marchita la vegetación; corroe los metales de los vehículos y el efecto llega a las plantas potabilizadoras de agua.

(5) La contaminación lumínica es la intrusión de fuentes artificiales de luz en el ambiente. La iluminación corresponde al 25% del consumo eléctrico mundial y deja un mapa nocturno del planeta con las grandes ciudades realzadas. Cuando el terremoto de 1994 dejó sin luz a todo Los Ángeles, muchas llamadas de emergencia reportaban una nube plateada en el cielo: por primera vez habían visto la Vía Láctea. El 63% de la población mundial actual vive en ambientes donde



4143. Contaminación lumínica. La luz artificial se concentra en las ciudades y reduce la visión del cielo nocturno (arriba-izquierda). En Berlín (derecha) se aprecia la diferencia entre la parte oriental y occidental, donde la oriental emite más luminosidad. En Berlín se evita iluminar amplias zonas para mantenerlas como refugio de la vida silvestre. El 30% del área emite solo el 6% de la luz. La tendencia en Estados Unidos es a un aumento en la contaminación lumínica (abajo-izquierda). Esto provoca la pérdida de la polarización de la luz y genera problemas para la vida silvestre que se orienta con esta particularidad de la luz solar (derecha).

un planeta

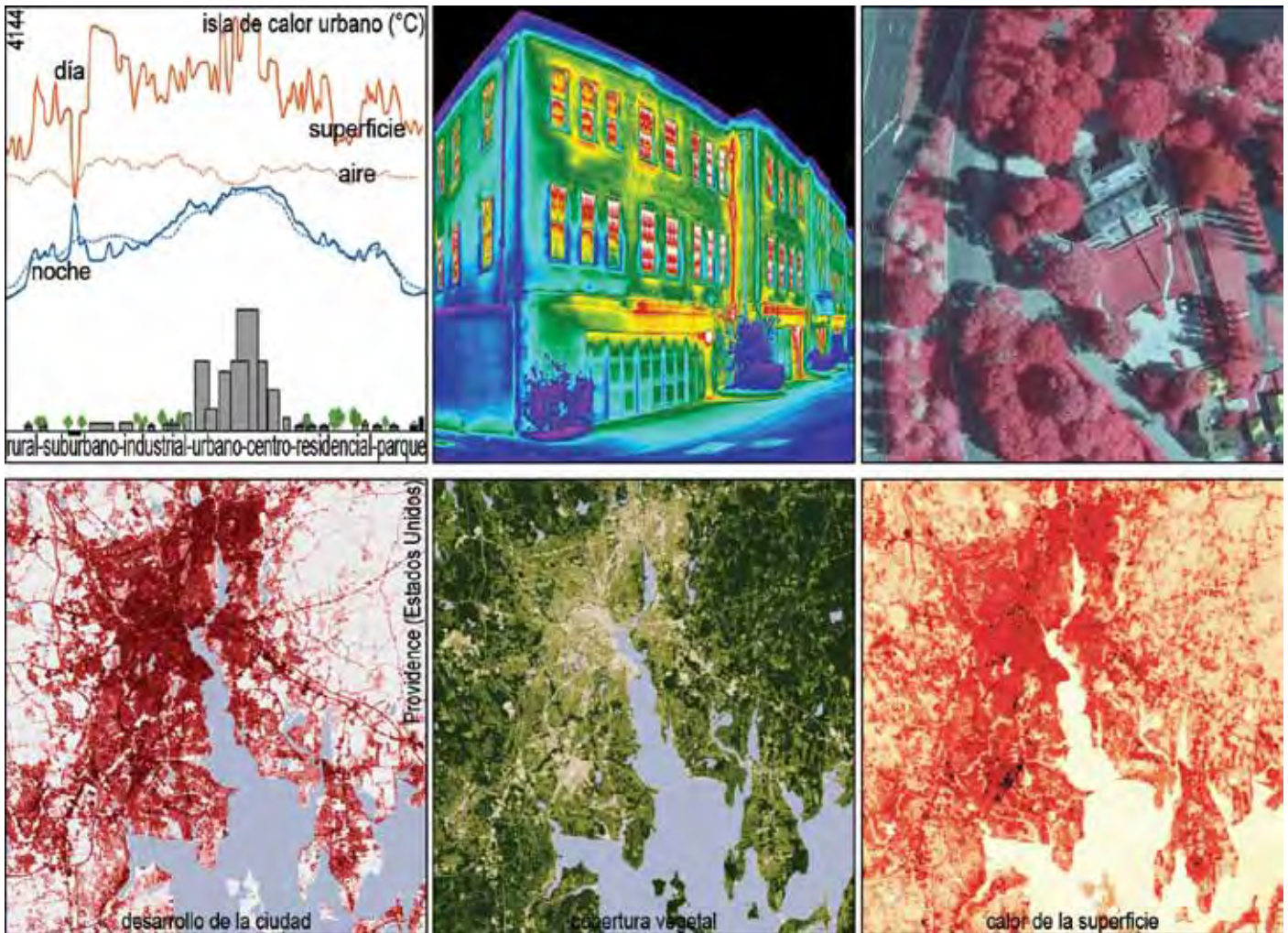
la contaminación lumínica supera el umbral definido: un brillo artificial 10% mayor al natural. La luz es dispersada por las partículas atmosféricas formando una campana luminosa que produce interferencia y pérdida de "bienes culturales", como la "observación de estrellas". El cielo puro (negro) solo es visible en alta mar. En tierra se consiguen tonos de grises. El brillo artificial bajo sobre la bóveda equivale a distintas fases de la luna. En las ciudades el ojo no se adapta a la visión nocturna y solo son visibles algunas pocas estrellas y planetas.

Entre las recomendaciones para contener la contaminación lumínica se incluye: evitar la generación de residuos lumínicos; dirigir la luz hacia el suelo mediante pantallas; el uso de lámparas de alta eficiencia y con espectro poco contaminante; automatizar el encendido y apagado en las horas de uso. La Agencia en Suiza de Eficiencia Energética definió niveles de consumo de energía para iluminar caminos de diferentes categorías. Por ejemplo, para caminos de hasta 10 m de ancho el consumo máximo es 3 W/m. Para lograrlo se usan luminarias que, en orden decreciente de eficiencia, son: luminarias LED (más de 150 lumen/Watt; color blanco); de sodio de baja presión (80-200; color amarillo); de sodio de alta presión (90-130; color rosa); lámparas de alógeno (60-120; color blanco); de vapor de mercurio (13-48; blanco

azulado) o lámparas incandescente (8-25; blanco amarillo). Las lámparas LED están logrando reducir la emisión de luz al espacio, más por la direccionalidad que por la cantidad de iluminación.

En un nuevo ejemplo de la paradoja de Jevons (relación directa entre eficiencia y uso), se dice que cada vez que se cambió la fuente de luz, el consumo aumentó. Se estimó que en 3 siglos el consumo en iluminación fue siempre del 0,72% del PBI por habitante (más PBI implica más consumo en iluminación). Es decir, una fuente más eficiente (vela, llama a gas, bombita eléctrica incandescente, bajo consumo fluorescente, LED) significa aumentar la cantidad de iluminación en lugar de ahorrar energía. La razón puede buscarse en que más luz artificial significa más creatividad, productividad y menor depresión.

Hay otros problemas con la luz artificial. Uno es la intromisión lumínica no deseada que penetra por las ventanas en el ámbito privado. Esto afecta el sueño nocturno. También, el uso de notebook o tablet antes de dormir generan problemas de sueño y humor. Otro caso es el huso horario y el efecto sobre la salud. La luz matinal es clave para activar procesos biológicos. En la Argentina amanece demasiado tarde y se tiene un corrimiento de 2 horas en la frontera andina. Lo que se



4144. Contaminación térmica. Las islas de calor se forman por las masas que absorben el calor y luego lo liberan lentamente (arriba-izquierda). Se muestra la diferencia entre la superficie y el aire (línea continua y de trazos) y entre el día y la noche (rojo y azul). La temperatura en las ciudades se concentra en ciertas zonas (centro). La temperatura de los árboles puede ayudar a entender el estado de salud (derecha). Existe una correlación entre la temperatura y la proliferación de plagas urbanas. Las fotografías satelitales (abajo) con diferentes filtros permiten determinar la concentración de construcciones urbanas (izquierda, máximo en rojo), de vegetación (centro, máximo en verde) y la temperatura (derecha, máximo en rojo). Las zonas vegetales son más frías que las densamente construidas.

busca es prolongar el anochecer y reducir el consumo de energía pero a costa de una calidad de vida inferior. Puede producir insomnio, problemas digestivos y de falta de concentración. En España y Portugal se tienen distintos husos horarios y la causa es que España utiliza la hora de Berlín desde la II Guerra Mundial. China tiene 4 husos horarios, pero la misma hora oficial para todo el país por razones políticas.

La luz artificial afecta a la vida silvestre. Las luces distraen a los insectos nocturnos que se orientan por la luz polarizada del cielo. Los insectos son alimento para otros animales y esto puede trastocar el equilibrio. En Berlín se midió que el grado de polarización de la luz del cielo diurno es del 70-80% y por las noches desciende al 10% debido a la iluminación. También desorienta a las aves migratorias, principalmente las luces sobre las torres elevadas. En Viena se midió como la extensión del día mediante luz artificial afectaba la elección de la pareja; las horas de canto y el desarrollo de las crías en las aves. Se encontró que la luz azul de las lámparas de neón afecta al petirrojo europeo (*Taeniopygia guttata*) ya que en Glasgow (Escocia) cantan casi toda la noche. En Florida los faroles de la costa atraían a las tortugas recién nacidas que debían dirigirse al mar y perdían el rumbo. Las autoridades obligaron a apagar las luces y cubrir las ventanas en las zonas críticas. También se sabe que la contaminación lumínica en lagunas interfiere sobre el ecosistema de plancton.

La "hora del planeta" (originada en Sydney-Australia en 2007) es un evento mundial organizado por la WWF para concientizar sobre el cambio climático. Consiste en apagar las luces durante una hora a fines de marzo de cada año.

(6) La contaminación térmica. Se pueden mencionar al menos 2 secuelas térmicas. Una es el incremento de la temperatura del aire en las ciudades y otra la salida de agua caliente de ellas. La "isla de calor urbano" se debe a las actividades comerciales e industriales, aire acondicionado, el aumento de humedad, el transporte y la contaminación del aire. Será un problema para la salud pública en la medida que el calentamiento global potencie el efecto. Las estructuras que almacenan calor durante el día lo liberarán por la noche. Las islas frías son aquellas que tienen vegetación. La diferencia de temperatura a nivel del suelo puede llegar a ser de 10 °C, dependiendo de la estructura de la ciudad, clima y humedad.

La contaminación térmica del agua es el resultado del uso de agua para refrigeración en plantas de energía (80% de los casos) y otras industrias (refinería, plantas químicas, fundiciones). También el calor acumulado en la ciudad (cemento, asfalto) pasa a las aguas pluviales y llega al ambiente natural acuático. El aumento de temperatura produce una reducción en el contenido de oxígeno, aumenta la tasa de crecimiento de vegetales y la reduce en los animales, afectando la biodiversidad del entorno. Además, cuando una central térmica sale de servicio se produce un "choque térmico" que afecta a la vida adaptada a una temperatura mayor. La mitigación se puede lograr mediante estanques de enfriamiento previos al vertido o aprovechando el calor para calefacción de casas o industrias.

(7) La contaminación acústica. Este identificador de las ciudades se relaciona con el stress y enfermedades cardíacas. Incluye el ruido del transporte (terrestre y aéreo) y la industria. Puede producir trastornos auditivos o psicopatológicos. Si ocurre durante las horas de sueño produce la pérdida de reflejos o conciencia, stress o insomnio. La OMS considera

un ruido de 70 dB como el límite máximo deseable; por encima de 55 dB afecta al confort para el descanso y la comunicación. Los problemas auditivos pueden ser producto de una exposición prolongada a niveles tolerables o un ruido de muy alta intensidad instantáneo (explosión). El ruido en las ciudades se puede encarar como un problema de salud o de ética. Mucha de la contaminación auditiva está generada por actividades de ocio que son realizadas en horarios de descanso.

El ruido afecta a la vida silvestre. Se encontró que el petirrojo europeo se ve obligado a cantar de noche cuando el ruido urbano es menor, e incluso lo afecta más que la iluminación nocturna artificial. Se observó que eran menos fieles a la pareja cuando se los somete al ruido urbano. En cambio, los picaflores han reaccionado en forma opuesta, ya que se adaptan bien a los ambientes ruidosos y se estima que es porque disminuyen los predadores. Algunas ballenas encallaron en la costa luego de ser sometidas a sonares militares o fueron obligadas a comunicarse más fuerte debido al aumento de ruido de fondo. Las medidas de mitigación son regulatorias (legales como la reducción de velocidad de vehículos); físicas (uso de barreras de ruido; modificación de la superficie del pavimento y del dibujo de neumáticos) y de educación para garantizar una reducción voluntaria.

(8) La contaminación visual. Es un problema estético que produce desorden visual e impide disfrutar de una determinada vista. Son causas de contaminación visual las torres de energía eléctrica o comunicaciones; autopistas elevadas; los edificios elevados discordantes; carteleras de propaganda o tránsito; propaganda pegada a las paredes; grafitis (una forma de vandalismo hecho sin consentimiento del propietario); cables aéreos sobre calles; basurales a cielo abierto, etc. La publicidad es un espejo del comportamiento social y una estimulación desmedida que provoca un ambiente caótico, donde la excitación induce ansiedad. Puede generar distracción y accidentes de tránsito, fatiga ocular y pérdida de identidad.

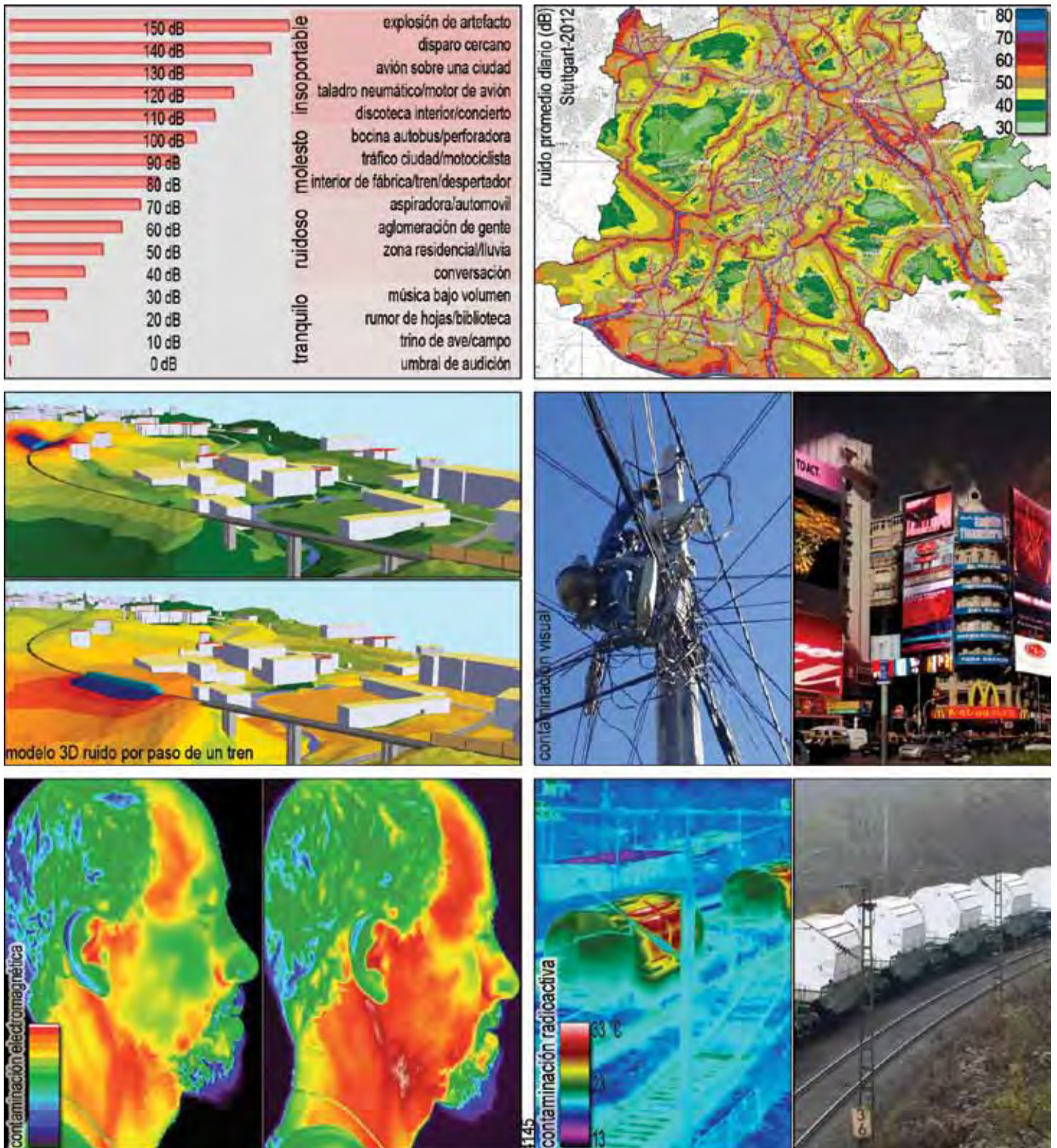
(9) La contaminación electromagnética. Se trata de una "contaminación presunta", ya que no hay pruebas concluyentes de los daños que podría causar. Incluye las radiaciones electromagnéticas de equipos electrónicos; antenas de microondas y torres de alta tensión; teléfonos celulares y algunos electrodomésticos (microondas). En la naturaleza los campos eléctricos se forman en las tormentas y los magnéticos incluyen al campo terrestre. En las ciudades se producen 3 tipos de peligros relacionados: eléctricos, de incendio y biológicos. Este último caso es el más controversial y sin pruebas concluyentes. No se disponen de estadísticas de largo plazo de efectos sobre los humanos con bajos niveles de exposición a la radiación electromagnética. Los trabajos publicados dan resultados negativos de afecciones producidas por fuentes de baja intensidad.

Algunos estudios mencionan un incremento en la probabilidad de cáncer para quienes viven cerca de antenas celulares. Otros alertan sobre la absorción de calor por parte del cráneo por el uso de teléfonos móviles. En forma preventiva, en 1974 la Unión Soviética reglamentó que las líneas de alta tensión con campos superiores a 25 kV/m deben estar a más de 110 m de la edificación más cercana.

Las aves e insectos se orientan durante el vuelo migratorio por el campo electromagnético terrestre. Disponen de receptores magnéticos (moléculas de magnetita) que detectan el campo. Se pudo demostrar que incluso actividades humanas consideradas inofensivas, como las

radios AM, pueden desorientar a los animales. Desde hace 50 años se conoce la orientación magnética y ahora se sabe que al menos el petirrojo (*Erithacus rubecula*) se desorienta en presencia de campos mínimos de origen humano en la banda de hasta 5 MHz. Este ruido electromagnético es mucho mayor en la ciudad que en el ambiente rural.

(10) La contaminación radioactiva (radiológica). Se produce desde plantas nucleares, aplicaciones industriales o médicas. Ambos términos (contaminación y radiación) no son intercambiables, ya que un material convenientemente tratado, deja de ser un contaminante aunque mantiene el peligro de la radiación. Se previeron procedimien-



4145. Cuatro tipos de contaminaciones. El nivel del ruido (contaminación acústica) se mide en decibeles y tiene límites difusos entre los niveles tolerables y dañinos (arriba-izquierda). El centro de la ciudad de Stuttgart sirve como ejemplo de concentración de zonas de ruido urbano como promedio anual del 2012 (derecha). Un modelo computacional 3D puede ayudar a predecir el nivel de ruido y distribución del paso de un tren (centro-izquierda). La contaminación visual produce una degradación en la percepción del ambiente (derecha). La contaminación electromagnética se pone en evidencia como incremento de temperatura luego de usar el teléfono celular (abajo-izquierda). La contaminación radioactiva se observa como un gradiente de temperatura en un tren "castor" que transporta residuos radioactivos entre Francia y Alemania para ser almacenados (derecha).

tos para el tratamiento de materiales radiactivos. La contaminación radiactiva se propaga por el aire, agua y se acumula en el suelo. Una fuente reciente de contaminantes radioactivos se observó en las explotaciones con fracturación hidráulica para la producción de petróleo. Ocurre porque se extraen minerales de las profundidades que son volcados en la superficie sin tratamiento específico.

(11) La contaminación genética. Es un nuevo tipo de polución que se refiere al pasaje genético desde organismos modificados por el hombre (transgénicos) hacia la vida silvestre y los alimentos orgánicos. El término incluye también las especies exóticas o domesticadas que son introducidas en forma voluntaria o por accidente (comercio internacional) y que transfieren genes a las especies nativas, produciendo híbridos. La organización Traffic realiza un monitoreo internacional para impedir este tipo de contaminación y el tráfico de la vida silvestre (animales y plantas). Por ejemplo, en el 2004 se estudió una especie transgénica de *Agrastis* (una hierba usada para pradera y resistente al glifosato) que llegó a polinizar otras especies de este género a 14 km de distancia. Este tráfico genético involuntario contamina a especie naturales y genera híbridos que son indeseados. El término polución o contaminación se pusieron en duda en este caso ya que están car-

gados de sentimientos negativos y para algunos solo se trata de una mezcla de genes.

(12) Contaminantes orgánicos persistentes (COP). Son productos químicos muy peligrosos (plaguicidas, productos químicos industriales o subproductos no deseados de los procesos industriales). Las características son: persistencia (lenta degradación en el aire, agua y suelos); bioacumulación en la cadena trófica; transporte a larga distancia; altamente tóxicos para humanos y vida silvestre; no respetan barreras generacionales (se mueven a través de la barrera placentaria y exponen a los no nacidos durante las etapas vulnerables del desarrollo). El Convenio de Estocolmo se ocupa de la eliminación de la producción y usos específicos (p.e., el DDT sólo puede ser usado bajo las directrices de la OMS); restricción de exportaciones de COP; determinar las existencias de COP y tomar medidas para garantizar que los desechos de COP son administrados y eliminados de una manera ambientalmente racional. El Convenio se centra en 21 COP de preocupación inmediata, donde los 12 COP originales se refieren como "la docena sucia": aldrin, clordano, DDT, dieldrina, endrina, heptacloro, mirex, toxafeno, hexaclorobenceno (HCB), bifenilos policlorados (PCB), dioxina, furanos. En 2009 se añadieron 9 productos químicos más a la lista de sustancias controladas.

El ciclo cerrado del consumo y los desechos

La basura. El volumen de basura producida en el planeta aumenta. En el 2013 se produjo 3,5 Mt/día (millones de toneladas al día) y trepará a 6 Mt/día en el 2025 y a 11 Mt/día a fines de siglo. A este valor se lo considera el "pico de basura" a nivel global y toma en cuenta la evolución demográfica, las migraciones y la riqueza. El número máximo de basura generado por un habitante en un país rico es de 3 kg/día y se espera que no se modifique. Sin embargo, un japonés genera el 70% de la basura que un norteamericano (con igual PBI), lo cual indica que hay razones culturales que pueden ayudar a reducir la basura. Un grave problema es que gran parte de los residuos se filtran a las napas de agua y terminan en el océano y otros son incinerados de forma que se vierten al aire. En el 2014 se conoció una encuesta europea que asigna al 95% de las personas un interés por el ambiente. España tenía un valor aun superior. Sin embargo, este índice no empalma con el hecho que Madrid entierra o incinera el 73% de la basura. Esto indica que un cierto grado de ecologismo está asumido pero no se refleja en el compromiso político del ciudadano.

Los residuos tienen un costo derivado de la gestión urbana (recolección y procesado); costos de las externalidades (emisiones y contaminación), efectos sobre la vida y el ambiente (cambio climático, pérdida de biodiversidad); costos en salud pública por enfermedades; conflictos por la tierra (lugar donde se procesan los residuos, costo de remediación). Pero también pueden ser un ingreso si se los recicla, se genera energía en el proceso o se aplican impuestos a la generación de residuos. Una solución pasa porque los residuos sean ventajosos como para reciclarlos o sean caros por impuestos como para reducirlos. El mercado global de la remediación de los problemas producidos por los residuos incluye: reciclado y reuso de artefactos (20% en el 2006); separación (20%); tratamiento químico o biológico (25%); destrucción térmica (10%); acumulación en vertederos (25%). Estos procesos son estudiados a continuación.

Un problema especial son los residuos peligrosos (radiactivos, hospitalarios, industriales). El Convenio de Basilea prohíbe la exportación de productos peligrosos desde 1989, pero se elude bajo el rótulo de donaciones y reducción de la brecha digital (computadoras); aunque la mitad de los productos no son reutilizables. Se estimó que el tráfico ilegal de basura peligrosa equivale al de la droga. Según la organización Legambiente, la mafia gestiona 20.000 toneladas de desechos peligrosos de la industria italiana al año. El máximo ocurrió entre los años 80' y 90' y se reportan casos de residuos tóxicos y nucleares. Son tirados al mar o exportados a otros países, aunque muchos se acumulan cerca de Nápoles y contaminan el ambiente. Por esto se han detectado dioxinas en productos de granjas. El puerto Gioia Tauro (Calabria) es el mayor del Mediterráneo y maneja 2,8 millones de contenedores al año, lo que dificulta el control de desechos peligrosos. En esta zona de Italia la mafia es la "Ndrangheta" (del griego virtud-coraje). La magnitud del problema se evidencia con la estimación que en diversas actividades delictivas mueven un total de 40.000 Mus\$/año, que equivale a 3,5% del PBI de Italia.

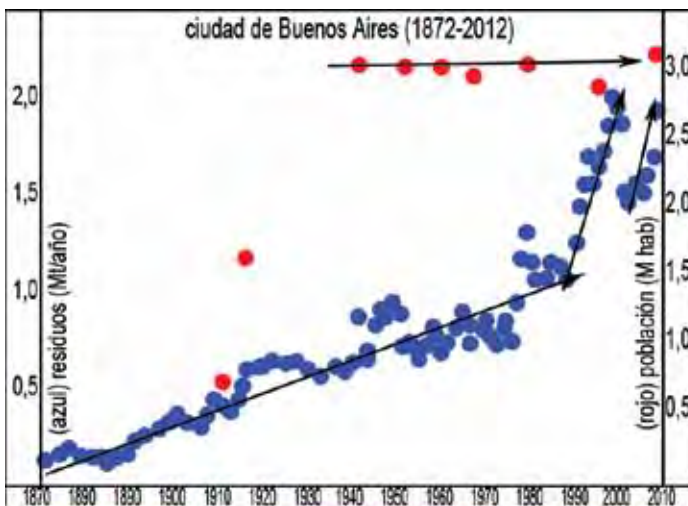
En China el principal problema es la falta de infraestructura para recoger la basura. El promedio nacional es 40% de recolección de residuos, pero en las zonas rurales puede llegar a 5%. En Filipinas hay buenos sistemas de recogida pero muchos camiones vuelcan la basura en las vías fluviales en lugar de procesarla. Cuando los residuos terminan en los ríos, llegan a los océanos. La contaminación por plástico en los océanos se acerca a 130 Mt y se añaden entre 5-13 Mt al año. Para el 2025 se tendrán 250 Mt de plástico en los océanos lo que equivale a 1 kg de plástico por cada 3 kg de peces.

Buenos Aires: basura bajo la alfombra. En el año 2009 las ciudades de Buenos Aires, San Pablo (Brasil) y Montevideo tenían el mismo PBI por habitante (entre 12.000 y 13.000 us\$ al año). Sin embargo,

la producción de basura era de 600 kg/año por habitante en Buenos Aires, 550 en San Pablo y 300 en Montevideo. En el mismo año, New York, Madrid y Buenos Aires producían casi la misma cantidad de basura por habitante (entre 500-600 kg), pero el PBI de New York era de 43.000 us\$/hab, en Madrid era 27.000 y en Buenos Aires 13.000.

En la Buenos Aires colonial (*Ciencia Hoy*, abril 2010), aun con pocos cientos de casas y un millar de habitantes, la basura era un problema sin resolver. Los animales muertos terminaban en las zanjas junto con restos de comida o residuos patógenos de enfermos. Desde los años '50 la población de la ciudad es de 3 millones de habitantes, sin embargo, la cantidad de residuos se duplicó (1,7 kg/día/hab) y cambió de composición, con una fuerte cantidad en plásticos (19% del peso) y papel-cartón (17%).

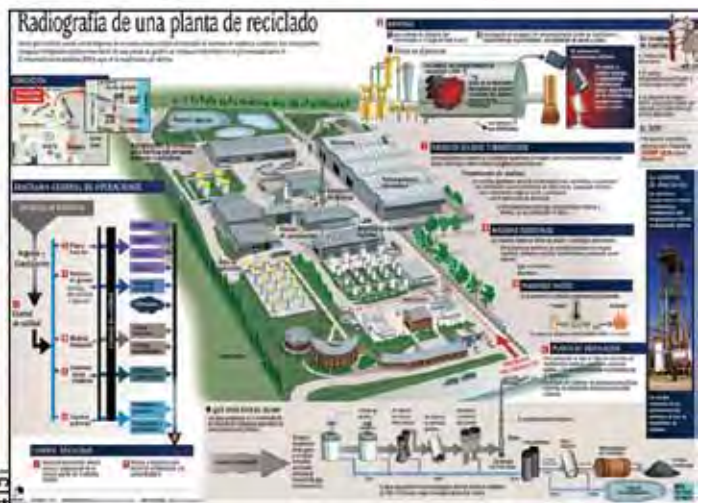
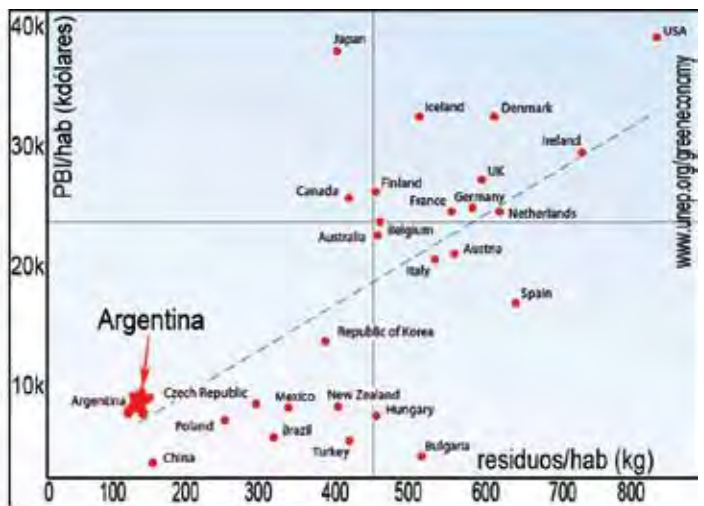
Buenos Aires tuvo 5 períodos en el tratamiento de residuos. En 1810-1860 se dispersaban en sitios ocultos designados por las autoridades. En 1860-1920 se realizó la quema centralizada, con recolección desde los zaguanes y con uso de tachos con tapa. El destino era "La Quema" en el Barrio de Parque Patricios y junto al Riachuelo. En 1920-1980 fue el período de la incineración en plantas y usinas. Se prohibió el cirujeo y el relleno con basura. Se realizaba la recolección con horarios fijos. En 1980-2010 se organizó el relleno sanitario mediante el Ceamse



(Coordinación Ecológica Área Metropolitana Sociedad de Estado). Desde 2010 y motivado por las fuertes críticas al enterramiento, ocurre un período que pretende el manejo racional de los residuos, reduciendo el enterramiento en forma gradual y aumentando el reciclado.

La incineración. Este método de tratamiento de basura utiliza plantas donde se queman en forma controlada los residuos sólidos urbanos, hospitalarios e industriales. Las ventajas son: posibilidad de generar energía eléctrica; procesado de casi todo tipo de residuos; localización cercana a núcleos urbanos; ocupa poca superficie de terreno y reduce el volumen de residuos en 80-85%. Además de la incineración están los procesos termoquímicos (gasificación, pirólisis o arco de plasma), que aún no probaron la viabilidad ambiental, técnica y económica. Por ejemplo, Suecia está a la cabeza en la tecnología de centrales de incineración para producir energía eléctrica y calor. Pero, el celo por el reciclado llevó a la reducción de basura y a la necesidad de importar basura desde Noruega (80.000 toneladas el año 2012) para generar energía. Los residuos tóxicos productos de la incineración fueron devueltos a Noruega para la eliminación en vertederos. En Suecia solo el 4% de los residuos terminan en vertederos.

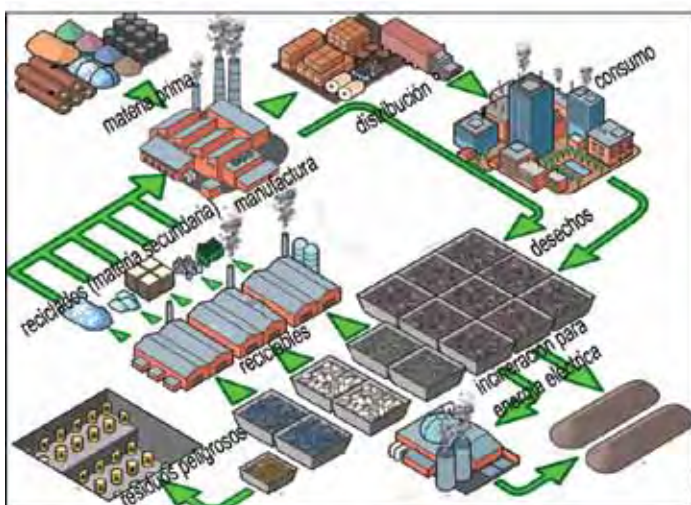
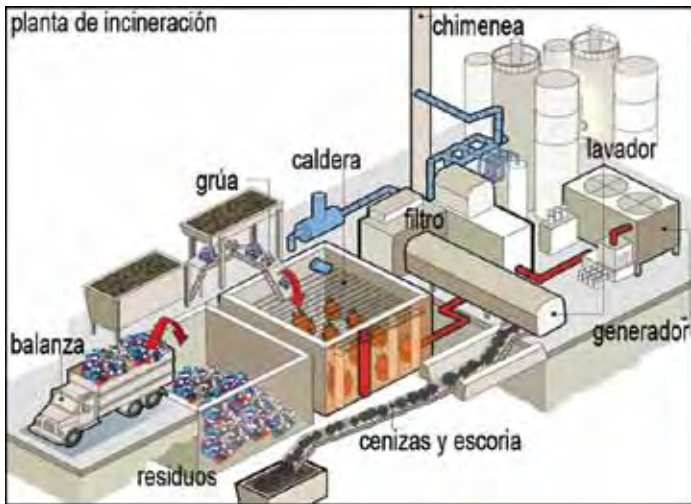
Las objeciones a la incineración son: los residuos finales requieren un vertedero especial (debido a la concentración de tóxicos); gene-



4151. Los residuos de Buenos Aires. La relación entre la población y la cantidad de residuos generados en la ciudad de Buenos Aires indica un aumento desde los años 80 (arriba-izquierda). El PBI se correlaciona con la generación de basura (derecha), sin embargo, algunas culturas generan menos basura. Tal el caso de Japón que entrega casi la mitad de basura que Estados Unidos con el mismo PBI. Se muestran 2 infografías sobre los problemas que genera el Ceamse en la zona de trabajos (abajo-izquierda) y una planta de reciclado en la provincia de Santa Fe (derecha).

ran gases venenosos que deben ser tratados; necesitan un aporte de energía exterior para su funcionamiento; tiene baja flexibilidad para variaciones estacionales de volumen de residuos; la inversión económica y los costos son elevados; hay posibilidad de averías (requiere un sistema alternativo) y además demora las políticas de reducción y reu-

tilización de residuos (la solución definitiva). La industria dice que las nuevas centrales de procesamiento producen una contaminación irrelevante y los ambientalistas afirman que en el proceso de incineración se forman compuestos nuevos (dioxinas y furanos) que son tóxicos, cancerígenos, persistentes y bioacumulables que pueden dispersarse



biogás desde residuos de ganado vacuno (Reading)

4152. Incineración, relleno y reciclado. El primer método para el proceso de basura son las plantas de incineración en forma controlada (arriba-izquierda). Suecia está a la vanguardia en plantas de incineración para la generación eléctrica (derecha). Otro proceso es el relleno sanitario, que consiste en capas de basura que son enterradas bajo tierra (centro-izquierda). Un problema son los líquidos lixiviados y los gases emitidos en casos de fallas en el cerramiento. La parte inferior se aísla para evitar los escapes (derecha). La solución definitiva para la basura es la reducción del consumo, la separación de elementos y el reciclado para ser usado nuevamente. Los metales pueden ser recuperados como "materia prima secundaria" (abajo-izquierda). En Bristol (Inglaterra) una planta de generación de gas para autobús utiliza residuos cloacales (derecha).

a grandes distancias de su fuente. Dicen que las mediciones de la industria se realizan en forma esporádica y en condiciones óptimas. No toman en cuenta los momentos críticos durante el encendido-apagado de motores o cuando existen fallas.

En el 2001, la Argentina firmó el Convenio de Estocolmo, para eliminar las dioxinas (cancerígenos muy tóxicos emitidos por incineradores de residuos). Los ambientalistas se movilaron para cerrar las plantas de incineración y formar parte de GAIA (*Alianza Global por Alternativas a la Incineración*). La ciudad de San Pablo (Brasil) se decidió por la producción de electricidad con los residuos urbanos. Se procesan 15.000 t/día de basura y producen el 7% de las necesidades eléctricas de la ciudad. En Copenhague, desde 1988 se redujo la basura que se envía a vertederos del 40% al 2%. El 50% de los residuos se recicla o se usan para generar calor que se distribuye por tuberías en la ciudad.

Relleno sanitario. Más sensatos que los basurales a cielo abierto, los rellenos sanitarios son lugares que pretenden reducir el impacto ambiental, económico y social en un intento por ser sustentables. Es el caso de Ceamse desde 1977. La ciudad de Buenos Aires envió al Ceamse un máximo de 2,3 Mt de basura en el 2011 y lo redujo a 1,28 Mt en el 2014. El resto fue recuperado en el programa de reciclaje.

El área para el relleno sanitario consiste en una excavación que se protege mediante una capa de plástico impermeabilizante. En la medida que se coloca la basura, se compacta con maquinaria y se cubre con tierra. Las capas de basura y tierra se alternan. Para cumplir con el Protocolo de Kioto, los rellenos sanitarios incluyen tratamiento de lixiviados (líquidos producidos por la basura); quema de gases de descomposición (metano); planes de reforestación en la capa superior y control de olores. Debido a la existencia de residuos peligrosos es necesario un tratamiento previo para eliminar las sustancias prohibidas. El paso lento de fluidos (agua de lluvia) en los materiales porosos (percolado) se filtra en las sustancias en descomposición, de forma que una parte se disuelve y es arrastrada (líquidos lixiviados). Los ácidos orgánicos (ácido acético, láctico o fórmico) disuelven los metales, arrastrándolos también. A pesar de los resguardos, si durante la vida del relleno sanitario se rompiera, los líquidos y gases podrían escapar al exterior.

Buenos Aires: Basura Cero. El concepto de "reciclaje total" data de los años '80. La primera política formal fue en Canberra (Australia) que promovió el objetivo "Ningún desecho en el 2010". Basura Cero es una filosofía que incluye el reciclaje, pero va más allá para darle un enfoque al flujo de recursos y desechos de la sociedad humana. Basura Cero maximiza el reciclaje; disminuye los desechos; reduce el consumo y garantiza que los productos sean fabricados para ser reutilizados, reparados o reciclados para volver a la naturaleza o al mercado. Rediseña el sistema industrial unidireccional para convertirlo en un sistema circular. Crea buenos empleos y participación ciudadana responsable, ayuda a la economía local; ofrece medidas de autosuficiencia y propone abortar la generación de desechos en lugar de gestionarlos.

En la ciudad de Buenos Aires la basura es un problema estructural: se enterró en rellenos sanitarios casi 3.000 t/día en el 2014 (1 kg/día/hab) y otro tanto se recicló. En el 2004 se presentó un "Plan de Basura Cero para Buenos Aires" y fue votado por unanimidad en el 2005. El plan propuesto por la ley consiste en la progresiva reducción de la cantidad de basura que se entierra mediante el crecimiento de

las industrias asociadas al reciclado y recuperación de materiales y la reducción en la generación de residuos. Los objetivos fueron reducir un 30% la cantidad de toneladas que son enterradas en rellenos sanitarios en el año 2010, 50% en el 2012 y 75% en el 2017. El plan incluye: separación en origen; uso de contenedores diferenciados (residuos secos reciclables y húmedos no-reciclables); recolección diferenciada; centros de procesado para materiales "secos" para su procesamiento; la creación de un Consejo Asesor (50 ONGs) y campañas de educación para separar la basura. Incluye la prohibición de incineración que solo podrá aplicarse para producir energía y luego de alcanzar el umbral del 75% de reciclaje.

La ciudad de Seattle (Estados Unidos) aplica una política de residuos denominada "lanzar a la menor distancia"; equivalente a la separación de residuos en el hogar. En el 2014 se aprobó un reglamento para penalizar a los que clasifican mal la basura para el reciclaje. Si un inspector encuentra que más del 10% del contenido del tacho de basura está mal clasificado puede penalizar al domicilio. Un grupo de residentes argumentó que es una violación de su intimidad y que "un objetivo admirable no justifica una mala política". Pero el Tribunal Supremo de Estados Unidos (1988) determinó que la decisión de tirar algo pone ese objeto en el dominio público, fuera del privado. Por ejemplo, la policía no necesita una orden judicial para agarrar la basura de un sospechoso y hacer un examen en busca de drogas.

Basura electrónica. La tecnología se caracteriza por el rápido crecimiento de producción debido a la obsolescencia programada; una particularidad que convierte en basura a los equipos, no por falla de funcionamiento, sino por cambios de software o mejoras del hardware o simplemente "modas". A nivel mundial se calculó en 42 Mt/año en el 2014 (6 kg/hab/año) y en la Argentina se llega a 3 kg/hab/año, impulsado primero por las computadoras y luego por los teléfonos celulares (el 30% llega a los rellenos sanitarios). En el 2010 se tenían 200 millones de computadores obsoletos en los países desarrollados y 100 millones en los países en desarrollo. Para el 2030 se estima que la proporción se invertirá, llegando a 200 y 600 respectivamente. El punto de cruce se estimó en el año 2016 con 200 millones de computadores obsoletos en cada caso. Un informe de 2015 para Europa dice que solo el 35% de los residuos electrónicos pasaron por el sistema oficial de reciclado. Son 3,3 Mt reciclados sobre un total de 9,5 Mt en Europa. Se estimó que 1,3 Mt se exportaron en forma ilegal fuera de la Unión Europea y 4,7 Mt dentro de la UE. La Interpol solo decomisa 2.000 t de residuos electrónicos. Muchos países no tienen medidas de pena que disuadan de estas prácticas.

Los residuos electrónicos pueden producir daños a la salud y el ambiente. Pero además contienen materiales valiosos (oro, plata, platino o cobre) que cargan una profunda huella de carbono para extraerlos mediante la minería. En especial el mercurio produce daños al sistema nervioso; el plomo potencia el deterioro intelectual; el cadmio afecta a la reproducción y fertilidad; el cromo afecta a los riñones y los huesos. Estos productos están en las baterías, lámparas de luz, tubos de rayos catódicos, soldaduras, etc. Mientras estos elementos están en el hogar, no generan riesgos de contaminación, pero al mezclarlos con la basura se rompen y se vuelven contaminantes peligrosos. Entre las buenas prácticas se mencionan: una conducta responsable del consumidor; incluir el reciclado dentro de la responsabilidad de los fabricantes y donar equipos que funcionen o con roturas reparables.

un planeta

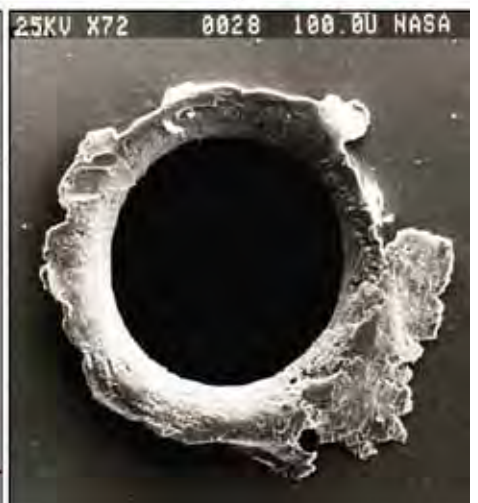
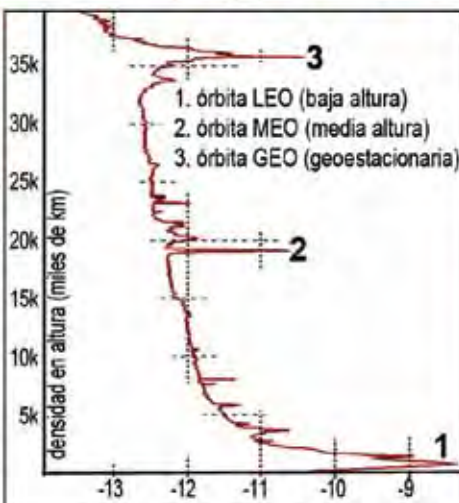
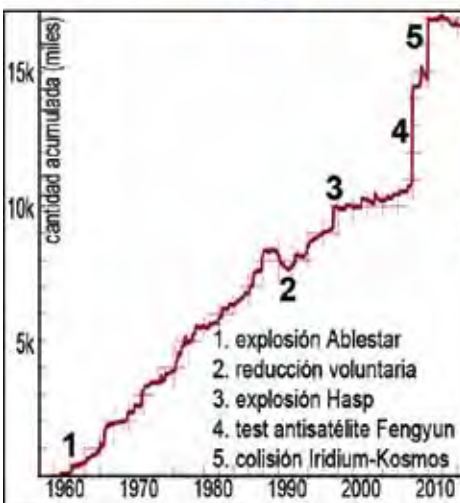
Por ejemplo, las lámparas CFL (*Compact Fluorescent Lamp*) de bajo consumo son peligrosas cuando se rompen y liberan mercurio (gas invisible): se advirtió que pueden ionizar el aire que las rodea y causar problemas a personas de piel sensible. Además son parte de una publicidad engañosa. Un estudio del INTI sobre 544 muestras en 17 marcas indica que algunas duran menos de lo prometido (19 de 32 lámparas duraron menos de 100 horas), otras iluminan menos (vienen preparadas para 230 V en lugar de 220 V). En casos extremos las lámparas indicaban 100 W e iluminaban por 29 W. En 3 marcas las lámparas llegaron a producir cortocircuitos, aunque llevaban el sello "S" basado en organismos de certificación. El ahorro en el consumo, respecto de las lámparas incandescentes, varió entre 5,5 y 3 veces. Las lámparas de bajo consumo no admiten muchos encendidos diarios (tienen un agotamiento prematuro) y el frío del exterior las afecta notablemente.

Otro ejemplo es la gestión de pilas y baterías agotadas que representan un problema ambiental de difícil abordaje. El uso racional se hace imprescindible cuando no existen tecnologías de tratamiento y se los

considera residuos peligrosos universales o masivos, lo que obliga a la recolección diferenciada. Contienen materiales tóxicos que tienen la potencialidad de ser liberados y causar impacto ambiental. Los productos principales de la descomposición son los líquidos lixiviados y los gases que pueden afectar la salud de las poblaciones de los alrededores.

Responsabilidad extendida. El líder en infraestructura de recolección, reutilización y reciclado de electrónica es Suiza, que recicla más del doble del promedio europeo, con el concepto de "quien contamina paga". Se trata de un impuesto anticipado para costear el reciclaje al fin de la vida útil. Reciclar es gratis, pero tirar basura cuesta dinero. Mientras en Suiza el promedio de vida de los equipos es de 3 años, en nuestros países es del orden de 7 años, debido a que los equipos se aprovechan por otras personas luego que el comprador original los descarta.

En la Argentina la recolección diferenciada y el reciclado de electrónica son ínfimos. No existen planes gubernamentales serios y los programas de recolección y reciclado de las empresas son publicita-



4153. Basura electrónica y espacial. En África, principalmente en Ghana, se concentra la basura electrónica no recuperada (arriba-izquierda). En China, la recuperación es parcial (derecha). A nivel global la basura electrónica es muy poco recuperada y rica en metales. La basura espacial es resultado de la tecnología y se inicia en 1960. Las órbitas de la Tierra están saturadas de partes de satélites y aumenta en forma permanente (abajo-izquierda). Algunos eventos produjeron un incremento abrupto de basura. Por ejemplo en el 2007, China realizó un test antisatélite destruyendo el Fengyun-1C y creando 3.000 piezas. En el 2010 colisionaron Iridium-33 y Kosmos-2251 a una velocidad de 11,7 km/s resultando en 2.000 piezas adicionales. China generó el 42% de los restos espaciales, Estados Unidos 28% y Rusia 25%. La distribución en altura se acumula en las órbitas de mayor aplicación (centro). El eje horizontal es un indicativo de la densidad de piezas en escala logarítmica. El 73% de los escombros espaciales están en órbita de baja altura (100-2.000 m). Una muestra del daño es el hueco que dejó una pieza del tamaño de un poroto en la nave Space Shuttle en 1984 (derecha). Un objeto de este tamaño no está contabilizado y se estiman en 500.000 objetos entre 1-10 cm (los objetos de más de 10 cm se pueden contabilizar por radar). El impacto de un objeto de 10 cm a 10 km/s equivale a 300 t de TNT.

rios. La basura electrónica termina siendo desechada en basurales o rellenos e incluso es incinerada. La empresa Staples ofrece un servicio a clientes donde entrega un kit para separar residuos electrónicos, los retira en forma controlada y los lleva para clasificación y reciclaje. Procesan las pilas comunes en un relleno de seguridad, las pilas recargables se envían a Europa, los toners y cartuchos de tinta se incineran en forma protegida, las lámparas se compactan y trituran, el plástico y cobre de los equipos se recicla y las plaquetas se envían a Europa.

En la Argentina se impulsa una ley nacional de gestión de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos bajo la responsabilidad extendida del productor. Esto obligará a los fabricantes a hacerse cargo de los residuos de sus propios productos e incluye un sistema de mejora en la fase de producción y una disminución en el consumo. Algunos productos deberían tener una tasa destinada a resolver la exposición final de los materiales. El concepto es un "enfoque de prevención de la contaminación", "pensamiento sobre el ciclo de vida" y "el que contamina paga". Hay dos grupos de objetivos: la mejora en el diseño de los productos y sus sistemas, y la alta utilización de productos y materiales de calidad a través de la recolección, tratamiento y reutilización o reciclaje de manera ecológica y socialmente conveniente. En Japón los productos obsoletos se devuelven a los minoristas y luego a los fabricantes que deben reciclarlos. En la Argentina existen algunos problemas a solucionar, como los productos "marca blanca" (PC armadas desde componentes sueltos) y los recicladores no autorizados.

Materia prima secundaria. Mucha de la materia prima "primaria" (obtenida en la naturaleza) se agotará en algunas pocas décadas. Se estima que el cobre comenzará a escasear en 30 años y el indio en una década. Esto se debe a que la minería se vuelve impopular por la destrucción del terreno y las reservas "fáciles" ya se consumieron. Entonces, los materiales primarios aumentarán de valor y se valorizará la materia prima "secundaria" (recuperada de los residuos). Mientras los combustibles fósiles tienen reemplazo en las energías renovables, los minerales no tienen reemplazo. Se calculó que se fabrican a nivel global 1.300 millones de teléfonos celulares y solo el 10% se reciclan. Cada teléfono tiene 23 miligramos de oro. Es decir, se tira a la basura 27 toneladas de oro al año. Para extraer 1 tonelada de cobre de una mina se remueven 1.000 t de roca; la misma cantidad se encuentra en 14 t de desechos electrónicos.

Para prevenir una crisis de basura electrónica los fabricantes deben diseñar productos limpios, con mayor vida útil, que sean más seguros y fáciles de reciclar y sin químicos peligrosos. Por ejemplo, en el 2007 los Estados Unidos reemplazaron 63 millones de ordenadores y solo el 15% se recicló. En el 2005 fueron 38 Mt de residuos electrónicos a nivel global (se estimaron 72 Mt para el 2017). Una de las soluciones generó una preocupación adicional, ya que cerca del 25% de estos residuos en el 2014 se exportaron a países con menores estándares ambientales para el "reciclado". El reciclado podría favorecer a países pobres, pero las medidas de seguridad son casi inexistentes. Se trata de "vertederos de desechos electrónicos". En Europa cada producto incluye una tasa para reciclado que recauda 4.000 millones de euros al

año, pero solo se recicla un tercio del total. La causa es que el costo de reciclar una PC en Alemania es 3,5 euros y un monitor en Francia es 5 euros. Exportarlos cuesta solo 1,5 euros.

En China, la ciudad de Guiyu, tiene 150.000 personas trabajando con basura electrónica importada del mundo desarrollado. Las Naciones Unidas estimaron que el 80% de la basura electrónica de todo el mundo se exporta a países del tercer mundo, principalmente a China (70%). El caso más preocupante está en Accra (Ghana), donde la basura electrónica elevó los niveles de metales pesados cerca de 50 veces sobre el límite de riesgo (1.000 veces para el plomo en ciertos lugares). Ghana importa 600 contenedores al mes (215.000 t/año) de residuos tecnológicos que son tirados y quemados sin recuperar. La recuperación de materiales valiosos genera un ingreso diario de 3,5 dólares por persona a una población de subsistencia. Aunque poco, es el doble del salario formal. Ghana estimó que cada computadora podría redituarse 10 dólares en metales (cobre, oro y aluminio). Pero, el PNUMA (Programa Ambiental de la ONU) denunció la exportación falsa. Por ejemplo, pilas descritas como plásticos; monitores de PC descritos como chatarra; elementos bajo el rótulo de "bienes usados" cuando no son funcionales.

Basura espacial. Se llama así a cualquier objeto artificial sin utilidad que orbita la Tierra: restos de cohetes y satélites, partes de explosiones, polvo y pequeñas partículas de pintura. Las colisiones pueden ser perjudiciales para los satélites activos y producir el "Síndrome de Kessler" (generación en cadena de más basura espacial debido al impacto entre cuerpos en órbita). Por debajo de los 500 km de altura los objetos se consumen en la atmósfera, pero en órbitas geoestacionarias (36.000 km de altura) permanecen allí. La hipótesis que las órbitas se vuelvan inutilizables se hace más probable con el transcurso del tiempo.

El satélite espía ruso Kosmos-954 cayó en el noroeste de Canadá en 1978. Funcionaba con un pequeño reactor nuclear y 12 piezas sobrevivieron la reentrada, de las cuales 10 estaban altamente contaminadas con radiación del reactor. Por las operaciones de limpieza la Unión Soviética pagó 3 Mus\$. Desde 1991, se registraron al menos tres colisiones en la órbita terrestre por culpa de la basura espacial. Se estima que se tendrán más de 18 choques al año hacia el 2050. La primera vez que se necesitó una maniobra para evitar una colisión fue en 1991 por la lanzadera espacial. Se encendió el sistema de control durante 7 segundos para evitar un encuentro con restos del satélite ruso Kosmos-955. En el 2009 colisionaron los satélites Iridium-33 y Kosmos-2251. En el 2012 la basura espacial puso en peligro a los tripulantes de la Estación Espacial Internacional. La basura pasó a 250 metros, pero los 6 astronautas se evacuaron de emergencia en las 2 naves Soyuz acopladas. Cerca de 100 toneladas de fragmentos, producto de 200 explosiones, están en órbita. La NASA estimó que existían 16.530 escombros de satélites y cohetes orbitando nuestro planeta a fines del 2012. Los objetos peligrosos flotando se incrementará de forma alarmante y en el futuro salir hacia el espacio será una misión prácticamente imposible.

AZARA

DESCUBRÍ TU ESPÍRITU EXPLORADOR

La Fundación Azara, creada el 13 de noviembre del año 2000, es una institución no gubernamental y sin fines de lucro dedicada a las ciencias naturales y antropológicas. Tiene por misión contribuir al estudio y la conservación del patrimonio natural y cultural del país, y también desarrolla actividades en otros países como Paraguay, Bolivia, Chile, Brasil, Colombia, Cuba y España.

Desde el ámbito de la Fundación Azara un grupo de investigadores y naturalistas sigue aún hoy en el siglo XXI descubriendo especies –tanto fósiles como vivientes– nuevas para la ciencia, y en otros casos especies cuya existencia se desconocía para nuestro país.

Desde su creación la Fundación Azara contribuyó con más de cincuenta proyectos de investigación y conservación; participó como editora o auspiciante en más de doscientos libros sobre ciencia y naturaleza; produjo ciclos documentales; promovió la creación de reservas naturales y la implementación de otras; trabajó en el rescate y manejo de la vida silvestre; promovió la investigación y la divulgación de la ciencia en el marco de las universidades argentinas de gestión privada; asesoró en la confección de distintas normativas ambientales; organizó congresos, cursos y casi un centenar de conferencias.

En el año 2004 creó los Congresos Nacionales de Conservación de la Biodiversidad, que desde entonces se realizan cada dos años. Desde el año 2005 comaneja el Centro de Rescate, Rehabilitación y Recría de Fauna Silvestre “Güirá Oga”, vecino al Parque Nacional Iguazú, en la provincia de Misiones. En sus colecciones científicas –abiertas a la consulta de investigadores nacionales y extranjeros que lo deseen– se atesoran más de 50.000 piezas. Actualmente tiene actividad en varias provincias argentinas: Misiones, Corrientes, Entre Ríos, Chaco, Catamarca, San Juan, La Pampa, Buenos Aires, Río Negro, Neuquén y Santa Cruz. La importante producción científica de la institución es el reflejo del trabajo de más de setenta científicos y naturalistas de campo nucleados en ella, algunos de los cuales son referentes de su especialidad.

La Fundación recibió apoyo y distinciones de instituciones tales como: Field Museum de Chicago, National Geographic Society, Consejo Superior de Investigaciones Científicas de España, Fundación Atapuerca, Museo de la Evolución de Burgos, The Rufford Foundation, entre muchas otras.

www.fundacionazara.org.ar
www.facebook.com/fundacionazara

 **VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES**

DELIVERY DE LIBROS.

Visitá nuestro catálogo y completá tu colección.

Envíos a domicilio a todo el mundo.

www.vmeditores.com.ar

Una visión científica interdisciplinaria de los principales problemas que enfrenta el planeta.

Decenas de indicadores ambientales, biológicos, físicos y socio-económicos se dispararon desde la mitad del siglo XX y parecen estar fuera de control.

Se agrupan en cuatro secciones: ambiente, energía, alimentos y ciudades.

Se estudian las causas, las consecuencias, las tendencias del cambio, los problemas éticos y las acciones posibles para mitigarlos.

El autor presenta unos **300 temas** sin prejuicios y en forma equitativa para todas las opiniones, con un lenguaje claro y didáctico, y cerca de **1.000 ilustraciones a todo color**.

Una visión que equilibra el optimismo de una solución tecnológica y la preocupación por la baja esperanza en el futuro.

un planeta se ocupa de las razones del stress que afecta a nuestro único hogar común.

AZARA
DESCUBRÍ TU ESPÍRITU EXPLORADOR



VM VAZQUEZ
MAZZINI
EDITORES
www.vmeditores.com.ar

