

*Nuestra especie ha inducido cambios en los ecosistemas que se han hecho permanentes, dejando una herencia de luces y sombras que ha recreado el legado natural*

## La impronta humana en la biosfera

**El hombre se ha hecho dueño y señor de un planeta en el que viven muchas otras especies animales y vegetales.** Su poderosa mano ha modificado el curso de los ríos, ha hecho desaparecer bosques y provocado el cambio climático, además de haber contribuido a aumentar el “agujero” de la capa de ozono. ¿Se podía haber evitado todo esto? En muchos casos, sí. Afortunadamente, parece que el futuro es algo más esperanzador: la sociedad actual ha tomado conciencia de la magnitud del problema, se preocupa por el entorno en el que habita y está dispuesta a actuar. ■ POR **Francisco García Novo y Raquel P. Fernández Lo Faso**, UNIVERSIDAD DE SEVILLA.

EN EL PARQUE NATURAL DE HORNACHUELOS (Córdoba), junto a Sierra Albarrana, en el corazón de Sierra Morena, los buitres leonados trazan lentas espirales elevándose sobre el valle del río Bembézar. El cauce ocupa una profunda trinchera de laderas escarpadas donde se aferran pies de encinas y acebuches, eucaliptos y masas de pinos piñoneros. Rodales dispersos de romero, genista, tomillo o jara se insertan en el denso tapiz herbáceo que con intensas tonalidades —verdes en otoño e invierno, doradas en verano y multicolores en primavera— condicionan el cambiante paisaje mediterráneo. Junto al lecho queda la estrecha ceja de bosque ripario con fresnos, álamos, sauces y tarajes, siempre amenazada por las crecidas del río. Sobre las gleras del cauce, juncos, cañas, adelfas y tamujos. Barbos, bogas, carpas, percas americanas, ranas, macroinvertebrados y otros insectos sirven de alimento para cazadores acuáticos como nutrias, garzas o el martín pescador, enriqueciendo la comunidad fluvial. Los ciervos abundan en el valle, acompañados de gamos que prefieren zonas con juncales y hierba o pastos adhesionados.

Pero la huella humana se hace patente incluso en nuestros espacios naturales privilegiados, como el Parque Natural de la Sierra de Hornachuelos. El eucalipto, la caña, el gamo o la carpa son especies introducidas. Los pinos piñoneros, no se encontraban naturalmente en la zona y algunos árboles autóctonos, como alcornos, quejigos, coscojas y olivillas, apenas aparecen. Las encinas, abundantes, son pequeñas y su copa evidencia la poda. Escasean las grandes rapaces, como el águila imperial o la real, y no existe el quebrantahuesos. Falta el lince y ya no llega el lobo en su campeo; hace siglos que ha desaparecido el oso pardo. Abunda el ciervo, a veces en exceso, pero no hay corzos. El antiguo bosque mediterráneo ha perdido porte y diversidad y ha ganado elementos nuevos, particularmente especies herbáceas que el movimiento del ganado y la intervención humana favorecen.

Al alejarse de las zonas de relieve acusado hacia tierras calmas, la transformación se hace más evidente. Dehesas con escasos árboles de porte regular, acompañadas de poco matorral, con pastizales aprovechados por el ganado. En un grado mayor de intervención,

cultivos leñosos de olivar, de higuera o viñedo y cultivos herbáceos donde, recogida la cosecha, apenas quedan especies silvestres en el barbecho.

Y es que la poderosa mano humana comenzó a cambiar la biosfera desde que empezó a recolectar y a cazar hace ya decenas de miles de años, en su África original y después en Asia y Europa, para llegar finalmente hasta Australia y colonizar el continente americano del norte al sur. Extinciones locales de animales y también introducciones de plantas han seguido paso a paso al hombre en su expansión.

El desarrollo de la agricultura aportó profundos cambios para mantener a grupos humanos numerosos que acometían intervenciones profundas para despejar suelo de cultivo. Las especies silvestres cultivadas fueron seleccionadas por su producción favorable y la práctica agrícola innova la biosfera, combinando selección, hibridación y difundiéndola más allá de sus límites biogeográficos. La revolución neolítica generó centenares de miles de razas nuevas, un número mucho mayor que el de especies silvestres de plantas. Con las semillas y frutos se desarrollan



La deforestación de los bosques, como la del Amazonas, supone una impronta negativa en la biosfera.

tecnologías para la producción de alimentos y bebidas, desde el pan a la cerveza, el vino o el pulque, las cecinas y embutidos, que a su vez seleccionan estirpes microbianas, aliados secretos de la vida humana.

La asociación con animales traerá grandes repercusiones biológicas: se crean especies nuevas, como el perro —la más inteligente y cercana a los humanos—; las vacas, ovejas, cabras, cerdos o gallinas, los cuines, llamas o vicuñas quedan muy alejados de sus antecesores silvestres y se diversifican en centenares de razas. Indirectamente, los propios animales en su campeo han servido para dispersar semillas de las especies que los alimentaban.

Las islas, universos confinados, son muy sensibles a la intervención humana, que extinguió rápidamente las especies apetecibles como presas. La introducción de cultivares, ganados, perros, gatos y (accidentalmente) de ratas y ratones, ha supuesto una crisis en la diversidad insular. Las islas del Mediterráneo, el Caribe o la Polinesia han perdido una parte de su fauna autóctona por la mano del hombre. Tenerife o Gran Canaria ofrecen un mosaico de

cultivos aterrazados con plataneras, tomateras y sus excelentes papas, mientras que las especies autóctonas se han refugiado en lugares poco accesibles, como laderas escarpadas o el malpaís, en conos volcánicos y barrancos.

Hasta el siglo XX, la expansión humana había multiplicado la diversidad en las zonas templadas, afectando escasamente a latitudes elevadas —siempre menos pobladas— y a las zonas tropicales —con una abrumadora diversidad natural—. En latitudes medias, los cultivos y pastizales dominaban las tierras bajas con cultivares introducidos y una cohorte de especies silvestres adventicias. Las zonas rurales tradicionales combinaban agricultura y ganadería y usaban como fuente principal de energía mecánica la tracción a sangre. El parcelario, dividido con cercas o setos, la presencia de muladares y estercoleiros, de árboles viejos y manchas de matorral, de viviendas con paredes de piedra o adobe, multiplicaban los hábitats de las especies silvestres cuya dispersión era favorecida por las labores agrícolas o la trashumancia. Por el contrario, la minería, la industrialización y el urbanismo alteraban sustancialmen-

te el medio, contaminando aguas y suelos y agotando la diversidad natural.

### El siglo XX y sus transformaciones

Durante el siglo XX tienen lugar cambios de gran intensidad. La población humana aumenta en 3,6 veces, pasando de 1.650 a 6.000 millones de habitantes. El consumo individual de alimentos, energía, materiales y productos se multiplica, especialmente en las ciudades con nivel de vida superior al rural. El movimiento de mercancías aumenta extraordinariamente, desarrollándose una red mundial, primero terrestre y marítima, más tarde aérea. El despliegue industrial crea una poderosa demanda de materias primas, que se globaliza, y de energía, que se satisface con fuentes hidroeléctricas, carbón y finalmente petróleo, seguido del gas natural.

A escala temporal histórica, estos cambios aparecen de forma súbita. La agricultura de regadío y la creciente demanda de electricidad y agua para consumo humano darán lugar a la construcción de presas y a la derivación de caudales, generando una cascada de procesos: regularización hidráulica, pérdida de volúmenes, reducción del transporte de sedimentos, fragmentación del hábitat. Todos provocan modificaciones en los organismos fluviales y, según las cuencas, reducción de los humedales en su desembocadura y aumento de la erosión o desaparición de playas y bancos arenosos.

La agricultura se intensifica, elevando la producción por medio de fertilizantes, pesticidas, riego y maquinaria y con la selección de nuevas variedades, pasando a convertirse de productor a consumidor de productos energéticos. La ganadería ha derivado en producción industrial de carne o leche, con animales estabulados que se alimentan a base de pienso; la mayor parte de la producción agraria se destina a la comida de las bestias.

El impacto directo del cambio agrícola y ganadero sobre la diversidad ha sido muy elevado. El indirecto, mayor:

los purines ganaderos y lixiviados de suelos agrícolas alcanzan finalmente las aguas superficiales, eutrofizándolas. Por vía aérea, la difusión de gases con efecto invernadero se debe a la progresiva oxidación de la antigua materia orgánica del suelo junto a la mineralización de la aportada por el crecimiento vegetal actual. La destrucción de bosques y humedales para su puesta en cultivo libera grandes volúmenes de CO<sub>2</sub>, antes fijado en los suelos y fondos lacustres y en los troncos de árboles. Los impactos en la diversidad biológica son intensos porque bosques y humedales presentan comunidades particularmente ricas en especies.

La mecanización de la pesca con barcos de vapor esquilmo las pesquerías más accesibles de explotaciones tradicionales como el bacalao, las anchoas o los atunes y bonitos. La incorporación de motonaves frigoríficas y el empleo de redes barreadoras de fondo y redes de deriva han reducido sustancialmente las reservas pesqueras de especies comerciales. La captura de especies de la base trófica de cadenas alimentarias, como el krill, produce efectos adversos sobre la diversidad, alterando la fauna piscícola mundial. El mercurio empleado en minería o en la industria química se incorpora a la red trófica a través de microorganismos planctónicos, acumulándose hasta alcanzar niveles tóxicos para la ingesta humana en especies de la parte superior de la red (bonito, pez espada...). Al morir, el mercurio retorna al agua iniciando de nuevo el circuito contaminante. Otras sustancias industriales, como fertilizantes, pesticidas, medicamentos o detergentes, alcanzan los mares y océanos, modificando su química.

La aparición de los plásticos y su extensa aplicación a usos domésticos, industriales o agrícolas, unida a su lenta degradación en el medio natural, ha facilitado su dispersión a lo largo y ancho de continentes y océanos. En los núcleos urbanos se acumulan en vertederos, acompañan a otros restos virtualmente no degradables, como neu-

máticos, materiales cerámicos, aceites, residuos industriales: un difícil legado para generaciones venideras.

Para finalizar, la impronta humana queda directamente patente en las infraestructuras que sostienen el modo de vida actual cuando más de la mitad de la humanidad se ha hecho urbana: líneas eléctricas, oleoductos, canales, carreteras, puentes, diques, puertos y aeropuertos, zonas industriales unidas a la trama urbana. Será un legado muy duradero: murallas, templos y palacios construidos hace milenios han llegado a nuestro tiempo. Los restos de nuestras urbes, los residuos inertes y muchos materiales industriales persistirán durante miles de años.

#### La huella global

Un observador de nuestro planeta situado a unos centenares de kilómetros identifica fácilmente las áreas agrícolas, industriales y urbanas, los embalses mayores, y las zonas desérticas calidas convertidas en agricultura o en zonas urbanas gracias al agua subterránea. Al ponerse el Sol, en la oscuridad uniforme de los continentes brillan las ciudades y zonas

industriales, mientras que las regiones deshabitadas, como el Sáhara, permanecen oscuras; desgraciadamente, otras regiones densamente pobladas, como Nigeria, Camerún, Gabón, Congo, República Centroafricana, República Democrática del Congo, Angola, Rueda..., tampoco brillan debido al bajo nivel de vida de su población, que contrasta con la abundancia de recursos naturales.

Los motores de combustión de los vehículos, el consumo de combustibles fósiles —especialmente para producción de electricidad—, la producción industrial y la puesta en cultivo de nuevas superficies han elevado rápidamente las emisiones hacia la atmósfera. Este legado humano se ha multiplicado durante el siglo XX y ha alterado la composición y el funcionamiento atmosférico. Las emisiones de halocarbonados empleados en el aire acondicionado y *sprays* originan un ciclo de reacciones que destruyen el ozono, contribuyendo a la formación de un “agujero” de unos diez millones de kilómetros cuadrados en la capa de ozono situada sobre la Antártida. La sustitución de halocarbonados



Los gases emitidos a la atmósfera provocan alteraciones climáticas de consecuencias desconocidas. En la imagen, desprendimiento de hielo en el glaciar Perito Moreno (Argentina).

por otros frígenos no reactivos con el ozono desde 1987 (Protocolo de Montreal) no ha impedido que el fenómeno continúe: la extensión en 2003 se ha situado entre las mayores registradas. Los halocarbonados y otras moléculas, como el metano, el dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno y el agua, que absorben bandas de infrarrojo y se comportan como gases de efecto invernadero, han impulsado el cambio climático de los últimos veinticinco años. El legado humano es la masa de gases emitida, que al desencadenar efectos en cascada, deja en la incertidumbre sus consecuencias. El cambio atmosférico está rehaciendo climas y litorales, corrientes oceánicas y biodiversidad, en un proceso global pobremente comprendido. Debido a la complejidad de los factores que interactúan, aún no se dispone de herramientas informáticas capaces de realizar buenas predicciones sobre escenarios de aumento o reducción de las emisiones de gases y de su reflejo en la biosfera y la sociedad.

Haber llegado a este desequilibrio constituye un arriesgado salto en el vacío de nuestra cultura tecnológica.

Para terminar, es interesante mencionar una impronta humana que ha cargado de incertidumbre a generaciones futuras: la movilización y generación de radionúclidos.

El descubrimiento de la radiactividad natural, y con ella la existencia de nuevos elementos, abrió a la física un campo insospechado que cuestionaba la estructura de la materia. Su investigación permitió dar pasos de gigante y descubrir la existencia de isótopos radiactivos en muchos elementos, y la liberación de energía asociada al proceso como radiación y calor. La vertiente militar, dedicada a concebir bombas de potencia aterradoras, empezó a ser desarrollada por los países más avanzados y culminó en 1945 con su primer ensayo y el uso militar sobre Hiroshima y Nagasaki. Lejos de rechazar tales armas de efectos devastadores, a partir de entonces se instaura una carrera armamentística para aumentar su efectividad, con más de 2.000 deto-

naciones nucleares hasta la actualidad, aunque su empleo no se ha repetido. Para geólogos y arqueólogos el pico de  $^{137}\text{Cs}$  o  $^{214}\text{Am}$  señala el año 1963, fecha álgida de los ensayos que contaminaron la superficie del planeta. Localmente, laboratorios, emplazamientos de los ensayos y poblaciones han sufrido y sufrirán las secuelas. Grandes volúmenes de materiales contaminados han sido depositados en los fondos oceánicos. Una señal global de ignominia que marca los continentes y fondos oceánicos del planeta.

La experiencia con los reactores atómicos destinados a la producción de plutonio para el armamento nuclear sugirió el diseño de centrales donde el calor liberado se aplicara a la generación eléctrica. Las centrales nucleares (en 2011: 437 reactores en 30 países) han supuesto una demanda mundial de uranio, que se emplea como combustible nuclear, y la acumulación de residuos formados por radionúclidos originales y los generados en los reactores, que abre un interrogante sobre el riesgo de su eventual liberación. Los accidentes de las centrales de Chernóbil (Ucrania), en 1986, y Fukushima (Japón), en 2011, han mostrado que, incluso en los países avanzados, el riesgo de contaminación sobre amplias regiones geográficas es consustancial a la operación de las plantas nucleares. El volumen de residuos generados y su duradera actividad plantean la necesidad de crear repositorios seguros a escala secular: un desafío inédito a la tecnología.

El horizonte abierto por la radiactividad ha producido aplicaciones tecnológicas muy valiosas, como la verificación de soldaduras, la destrucción de gérmenes y células cancerosas por irradiación, la identificación de elementos y átomos en moléculas y el seguimiento de procesos fisiológicos. La medicina y la tecnología actuales serían imposibles sin su aplicación, y su producción no es posible sin industrias nucleares. Los radionúclidos ya empleados se almacenan en condiciones controladas, lo que evita su dispersión ambiental y preser-

va estos materiales tecnológicos para aplicaciones futuras. Por el contrario, ni el armamento nuclear, ni los navíos de guerra nucleares y tampoco las centrales eléctricas nucleares han supuesto mejoras sociales; más bien han acumulado contaminación y riesgo, generando un legado temible. Como señal de esperanza, las cabezas nucleares de Estados Unidos y Rusia se están desmantelando para recuperar los elementos fisio-nables como combustible nuclear.

### Suavizar la impronta humana

La presencia humana ha marcado la biosfera. Nuestra especie ha inducido cambios que se han hecho permanentes. La biosfera ha sido humanizada, con un legado de luces y sombras que ha recreado el legado natural.

Durante el último siglo, la intervención humana ha sido tan intensa que muchos cambios están en curso y hasta las próximas décadas no mostrarán su magnitud. Confiamos en que la modificación del clima no resulte catastrófica para los sectores sociales desfavorecidos, cuya supervivencia depende estrechamente de los recursos naturales.

Como reflexión final, hay que reconocer que muchos de los cambios históricos eran imprevisibles para el conocimiento contemporáneo; otros, sin embargo, resultaban fácilmente anticipables, como la extinción de especies y comunidades, el colapso de recursos sobreexplotados, el vaciado de los océanos, la contaminación de la atmósfera o la liberación de radionúclidos. Todos ellos tienen en común haber sido causados por actitudes de explotación rapaz de la naturaleza o desprecio de las personas, considerando los efectos ambientales y sociales como externalidades: una actitud irracional e insostenible.

La sociedad actual ha incorporado otro legado que hará más llevaderos los anteriores: la preocupación por el entorno y por los sectores sociales marginados. Con su ayuda, la impronta humana en el Planeta azul resultará más leve para la biosfera y más amable para la humanidad. ■