

# Economía para un planeta abarrotado

JEFFREY SACHS

Traducción de  
**Ricardo García Pérez**

**DEBATE**

## El Antropoceno

La capacidad del mundo para aunar crecimiento económico a largo plazo y equilibrio medioambiental está siendo debatida en profundidad. Pero hay una cosa segura: *la actual trayectoria de la actividad humana no es sostenible*. Si seguimos haciendo sin más lo que venimos haciendo en el planeta sin alterar la tecnología (pero a una escala mucho mayor, en un momento en que China, la India y otros grandes núcleos de población experimentan un crecimiento económico acelerado), se vendrán abajo los cimientos medioambientales del bienestar global. Los límites del propio medio ambiente frustrarán nuestras aspiraciones globales de prosperidad. Pero si canalizamos una modesta parte de nuestros cada vez mayores conocimientos y recursos hacia el desarrollo de tecnologías de alto valor S, el resultado puede ser muy distinto.

### LOS SERVICIOS DE LA NATURALEZA Y LA POBLACIÓN HUMANA

Para conseguirlo, tendremos que abandonar algunas malas costumbres muy consolidadas. La historia natural de nuestra especie no se reduce a la de la migración humana y el crecimiento demográfico. De hecho, nuestra pauta de actuación más arraigada ha sido la apropiación de los sistemas naturales de la Tierra en beneficio propio, a menudo con un inmenso coste involuntario para otras especies y para el bienestar a largo plazo de la humanidad en su conjunto. La naturaleza nos brinda el material para la vida (el alimento, el agua, los combustibles, las fibras textiles...) y las sociedades humanas han tra-



bajado sin descanso para aprovechar los servicios de la naturaleza con el fin de sustentar una población humana cada vez mayor y unos crecientes niveles de consumo por persona, pero, por lo general, sin reparar en las consecuencias a largo plazo. De hecho, esas consecuencias han sido en términos generales fáciles de abordar hasta hace muy poco, cuando el mundo se superpobló en extremo de seres humanos y de su actividad de alta intensidad.

Nuestra especie, el *Homo sapiens*, lleva ahora en el planeta aproximadamente cien mil años. Durante los primeros más o menos noventa mil años de existencia humana, la población chocó con los límites impuestos por la capacidad de pequeños grupos de seres humanos para cazar y recolectar alimentos en unos sistemas ecológicos diversos. La capacidad de carga de cada entorno difería. Las poblaciones humanas variaban en número y densidad en función de la productividad subyacente del ecosistema local y de la competencia con otras especies, ya fuera en desiertos, montañas, riberas fluviales, estuarios costeros o infinidad de otros espacios de presencia humana. Las cifras de seres humanos seguramente no fueron muy distintas de lo que podría esperarse en mamíferos de nuestro tamaño: en torno a uno o dos seres humanos por kilómetro cuadrado; más elevadas en los escenarios de productividad elevada, como las riberas de los ríos y los estuarios, donde la pesca era fácil y abundante, y más reducida en entornos de baja productividad, como las márgenes del desierto. A escala global, la cifra de cazadores-recolectores tal vez ascendiera a diez millones al comienzo del Neolítico, hace diez mil años.<sup>1</sup>

Ya en esta temprana fase de la existencia humana (en realidad, incluso antes de que aparecieran los seres humanos modernos), nuestros antepasados empezaron a modificar el paisaje para hacer recaer sus beneficios en la satisfacción de las necesidades humanas a expensas de otras especies. Hay evidencias de que los seres humanos, e incluso los protohumanos, utilizaron el fuego para alterar el paisaje con el fin de convertir bosques en praderas y hacer más fácil la caza. Aquellos primeros pasos de nuestra especie auguraban la pauta que nos ha situado ante el reto ecológico del siglo XXI.

El avance decisivo de las poblaciones humanas no se produjo con el fuego, sino con la invención de la agricultura, hace aproxima-



damente diez mil años. La transición hacia la agricultura representó un cambio cualitativo en el orden natural; un cambio cuyas consecuencias todavía se dejan sentir hoy. En un sistema de producción agrícola, se elimina del terreno a todas las comunidades naturales de plantas y animales con el fin de que los seres humanos puedan apropiarse de la energía solar de manera más directa. La fotosíntesis se orienta hacia los alimentos consumidos directamente por los seres humanos, o hacia los alimentos que ingieren los animales domésticos que consumen directamente los seres humanos. La agricultura fue algo auténticamente nuevo y revolucionario. El equilibrio entre los seres humanos y el resto de la biosfera se alteró de forma trascendental.

Las poblaciones humanas proliferaron de forma vertiginosa tras la aparición de la agricultura, tanto porque nuestra especie consiguió incrementar su densidad allí donde se asentara como porque la agricultura concedió la oportunidad de llevar a cabo una expansión masiva del espectro de hábitats humanos. A partir de entonces se podía talar un bosque con la intención de sembrar un cultivo y extender los asentamientos humanos. Durante los últimos diez mil años, la deforestación ha sido la política escogida por las sociedades humanas para incrementar la capacidad de carga humana del entorno local. Desde la aparición de la agricultura hasta el comienzo del primer milenio, en el año 1, momento en que se estima que la población rondaba en total los 230 millones de habitantes, el resultado fue el aumento de la población humana de tal vez un orden de magnitud.

En los primeros momentos de la agricultura, esta población en aumento se concentraba en su mayor parte en los grandes sistemas ribereños de Asia y en el Nilo, en Egipto. Aquellos ecosistemas ribereños ofrecían un amplio abanico de servicios del ecosistema para la supervivencia humana: abundante radiación solar, agua para el riego y para uso doméstico, árboles para obtener leña y para la construcción, transporte fluvial y suelos ricos en nutrientes, que se repoblaban con el cieno transportado río abajo procedente de la erosión de las montañas en el curso alto. De hecho, cabe afirmar que las cadenas montañosas del Tíbet y el Himalaya sustentaron el enorme potencial demográfico de Asia haciendo posibles las sociedades fluviales del



Indo, el Ganges, el Brahmaputra, el Ayeyarwaddy, el Mekong, el Yangtsé, el Amarillo, el Salween y otros ríos. Los ríos Tigris y Éufrates de las actuales Turquía e Irak y el Nilo permitieron la aparición de las civilizaciones antiguas de Oriente Próximo.

Nuestra especie ha demostrado ser extraordinariamente versátil y ha encontrado un nicho ecológico prácticamente en todas las regiones del planeta, desde los trópicos hasta la tundra, desde las llanuras hasta las cimas montañosas, desde los terrenos áridos hasta los bosques tropicales. En todas partes aumentó la densidad de población hasta el punto de que las necesidades humanas básicas pudieran ser satisfechas con las reservas de recursos locales. Y con la mejora de las tecnologías, la sociedad remodeló y dio nueva forma al ecosistema. Las laderas de las montañas fueron aterrizadas, las praderas naturales fueron sustituidas por plantas herbáceas comestibles, principalmente trigo, arroz y maíz, y las semillas de bajo rendimiento fueron poco a poco desplazadas por otras de alto rendimiento, de modo que, con el paso de las generaciones, la apariencia física de los cultivos originales se transformó hasta volverse irreconocible con respecto a los de los antepasados remotos. Los bosques fueron talados para el pasto y las poblaciones de vida salvaje fueron sustituidas de forma sistemática por las de animales domésticos.

Esto es lo que sucedió al menos en los casos afortunados. En otros, las sociedades humanas devoraron el entorno natural hasta el punto de llegar al colapso. Uno de los casos más llamativos es el de la llegada de los seres humanos a América al final de la época glacial, hace aproximadamente trece mil años. Pequeños grupos de cazadores-recolectores en migración atravesaron una lengua de tierra entre Asia y América del Norte para encontrar un continente poblado por inmensas manadas de grandes mamíferos terrestres, entre los que había caballos, mamuts y bisontes. Los cazadores-recolectores se pusieron manos a la obra y, aproximadamente once mil años antes del momento actual, ya habían cazado a todos los grandes animales hasta hacerlos desaparecer.<sup>2</sup> El resultado fue catastrófico para la historia futura de los descendientes de estas poblaciones. De no haberse extinguido, los caballos habrían proporcionado a los indígenas americanos fuerza motriz para los arados, el transporte, los pozos de agua

y demás; pero desaparecieron antes de que se reconocieran estas posibilidades tecnológicas. Otros grandes mamíferos norteamericanos podrían haber sido domesticados para usos agrícolas.

Durante los siguientes diez milenios más o menos, las poblaciones indígenas norteamericanas se vieron privadas de los animales de granja y de su fuerza. De hecho, los únicos grandes animales domésticos de toda América fueron las llamas y las alpacas de los Andes, que, por otra parte, no eran adecuados para adaptarse a vivir en unas sociedades a baja altitud. Los indígenas americanos pagaron un precio espantoso por las primeras desapariciones de animales. Cuando finalmente se reintrodujeron los caballos en América, dicha reintroducción fue llevada a cabo por los conquistadores españoles, que utilizaron la fuerza de los caballos para someter militarmente a las infortunadas poblaciones indígenas.

#### EL INCREMENTO INTERMITENTE DE LAS POBLACIONES HUMANAS

Comparado con lo sucedido en los dos últimos siglos, el incremento de poblaciones humanas producido desde el año 1 d.C. hasta la revolución industrial a comienzos del siglo XIX fue extraordinariamente paulatino e irregular. Durante aproximadamente 1.800 años, la población se multiplicó más o menos por cuatro para pasar de los alrededor de 230 millones estimados en el año 1 hasta los 1.000 millones, alcanzados por primera vez en 1830. En los 175 años siguientes, la población mundial se multiplicó por más de seis, desde esos 1.000 millones hasta los 6.500 de 2005. En la era preindustrial, las sociedades fueron aprendiendo poco a poco a dominar el entorno local (a seleccionar cultivos, controlar el agua, gestionar el suelo, domesticar animales, extraer minerales, desbrozar tierras para pastos y obtener leña), con el fin de sustentar poblaciones más numerosas. Cada apertura de una nueva ruta comercial, como la ruta de la seda que iba desde China hasta Europa durante el Imperio romano o las rutas marítimas tendidas desde Europa hasta América en la época de Colón, concedía otra oportunidad de incrementar las poblaciones humanas, ya que con el aumento del comercio se incrementaba la

productividad. El comercio favoreció el intercambio de cultivos, animales, tecnologías y, como es lógico, poblaciones humanas. Los europeos introdujeron en América el trigo y los caballos, a Europa llegó el cultivo de la patata procedente de los Andes, y el maíz procedente de Mesoamérica se convirtió en un cultivo básico en toda Europa y África. Asimismo, el plátano fue llevado desde el sudeste de Asia hasta África, donde se convertiría en la cosecha principal de las grandes extensiones del continente. La lista de intercambios de este tipo es inmensa.

Además del intercambio de cultivos, también hubo otras tecnologías cruciales que sustentaron la expansión de la población humana. La mejora de los arados ocurrida aproximadamente a partir del año 1000 permitió a los europeos asentarse en los duros suelos de Europa septentrional, que siglos antes habían constituido una barrera para la expansión del Imperio romano. La mejora de las hachas permitió derribar bosques más frondosos. La recién aplicada rotación de los cultivos, como la práctica de alternar legumbres y alfalfa para fijar el nitrógeno junto con otras hierbas, permitía que los suelos recuperaran el nitrógeno y, con ello, que el rendimiento medio de las cosechas fuera superior. Algunos otros avances fueron las mejoras introducidas en el regadío, los transportes, la energía hidráulica, la energía eólica, las cocinas de leña y la confección textil.

Las poblaciones humanas tenían tendencia a expandirse hasta la máxima capacidad de carga de cada nicho ecológico. La introducción de un nuevo cultivo que permitiera elevar la producción alimentaria inducía muy pronto un aumento de la población mediante cierta combinación de inmigración e incremento demográfico natural. Este último derivaba tanto de un aumento de las tasas de natalidad como de un descenso de las de mortalidad. Una mejor alimentación incrementó la supervivencia infantil. El incremento de la renta familiar permitía adelantar la edad del matrimonio en la comunidad y que una mayor proporción de hijos con la riqueza suficiente tomaran esposa y fundaran un nuevo hogar.

Si las condiciones alimentarias eran favorables, las poblaciones humanas podían expandirse con bastante rapidez. Pero dicho aumento se veía frenado reiteradamente por dos fuerzas. La primera era la

de las enfermedades infecciosas, y la segunda, los límites naturales de la producción alimentaria en los sistemas de producción agrícola tradicional. Ambas limitaciones significaban que el aumento de las poblaciones humanas a largo plazo se viera al mismo tiempo constreñido por la reiteración de estas crisis y sometido a ellas.

La cuestión de las enfermedades exige de nosotros que le prestemos toda nuestra atención, sobre todo en la era del sida, la gripe aviar, el virus de Ébola y otras enfermedades de nueva aparición. A lo largo de la historia, el crecimiento de la población se ha visto frenado en seco una y otra vez por epidemias devastadoras. Las enfermedades «nuevas» han golpeado a las poblaciones humanas al menos por tres razones. En primer lugar, se transmitían enfermedades de una población a otra cuando dos sociedades anteriormente aisladas tomaban contacto mediante la conquista o el comercio. Al exponerse a la enfermedad por primera vez, la población «virgen» podía quedar diezmada. Parece probable que la apertura de la ruta de la seda entre el Imperio romano y la dinastía Han de China transmitiera también enfermedades a Europa, las cuales tuvieron consecuencias devastadoras para la población del Imperio romano. El incremento del comercio entre Asia y Europa en el siglo XIV, posible gracias a la paz impuesta por los mongoles, fue también la causa de la introducción de la peste bubónica en Europa, que desencadenó varias epidemias catastróficas, incluida la de peste negra del período 1347-1351. La conquista española de América tras los viajes de Colón llevó del Viejo Mundo al Nuevo la viruela, el sarampión y otras enfermedades, las cuales contribuyeron al dramático colapso de las poblaciones indígenas.

En segundo lugar, las enfermedades pueden requerir que la envergadura o la densidad de la población alcance un umbral mínimo que favorezca la transmisión activa de la misma. Por consiguiente, un aumento de la envergadura o la densidad de la población puede exponerla a una enfermedad que anteriormente no podía acoger. La aparición de la agricultura, por ejemplo, se tradujo en la transmisión de innumerables enfermedades que requieren densidades de población más altas que las que se dan en sociedades cazadoras-recolectoras. La malaria es un ejemplo de enfermedad mortal masiva



que probablemente adoptó su actual naturaleza asesina hace cinco mil años con la introducción en África de la estabulación del ganado. Hasta la aparición de la agricultura sedentaria, las comunidades cazadoras-recolectoras de África eran demasiado reducidas y estaban muy dispersas para poder sustentar la transmisión sostenida de la malaria. La vida urbana favorece asimismo la propagación de numerosas enfermedades, como el sarampión, que exige las elevadas densidades de población propias de los asentamientos agrícolas. Por consiguiente, a lo largo de la historia, cuando las sociedades conseguían realizar grandes avances en la agricultura que hacían posible el crecimiento de la población urbana, la propagación inicial de la urbanización solía verse interrumpida por brotes de enfermedades infecciosas.

En tercer lugar, la modificación de las pautas de asentamiento humanas pone a las sociedades en contacto con nuevas especies de animales que hospedan enfermedades infecciosas que, a continuación, pueden mutar y contagiar a las poblaciones humanas. El resultado puede ser una zoonosis, esto es, una enfermedad infecciosa transmitida a la población humana por alguna población animal. La epidemia del sida es una de estas zoonosis. La meticulosa reconstrucción genética de la historia del sida indica que el virus de inmunodeficiencia humana (VIH) que causa el sida es una mutación de un virus de inmunodeficiencia de los simios (VIS), del que son portadores los chimpancés. El VIS no es dañino para los chimpancés, pero el VIH ha matado a más de veinticinco millones de seres humanos. Parece probable que el VIH apareciera en algún momento en África occidental en torno a 1930, cuando un cazador de chimpancés o alguien que ingiriera animales salvajes no sometidos a control alimentario entró en contacto inadvertidamente con el VIS, que a su vez mutó para transmitirse entre seres humanos.

En última instancia, ninguna de las calamitosas epidemias extinguió por completo a las poblaciones humanas, exceptuando tal vez a algunas en zonas muy determinadas, y las sociedades solían recuperarse en un período de tiempo relativamente breve. El Renacimiento surgió en Europa unas cuantas décadas después de la peste negra, y algunos historiadores han especulado incluso con la idea de que la

bajísima densidad de población humana en Europa y los consiguientes trastornos de la vida medieval favorecieron la aparición de la creatividad del Renacimiento. Una razón de la supervivencia a largo plazo de la especie humana han sido los ajustes evolutivos de la población humana ante las nuevas enfermedades, ya que la selección natural favorece los rasgos genéticos que nos protegen de las enfermedades. En algunos casos los agentes patógenos han evolucionado de manera similar hasta volverse menos letales con el paso del tiempo. La respuesta de las sociedades estableciendo, por ejemplo, métodos de cuarentena más efectivos, quizá desempeñara también algún papel en la protección de las poblaciones humanas antes incluso de la era de la medicina moderna. Por la razón que sea, algunos de los peores asesinos de la humanidad, como la peste bubónica, desaparecieron en gran medida de la escena sin que la sociedad pusiera en práctica ninguna contramedida clara y decisiva que explique por completo su desaparición.

En vista de todas las desgracias que le pueden acontecer al ser humano (malas cosechas, guerras, enfermedades epidémicas), no debe sorprendernos que la tendencia a largo plazo del incremento demográfico global se viera jalonada por desastres reiterados, entre los que se encuentran la peste negra, el exterminio de poblaciones indígenas americanas a partir de 1492, la epidemia de gripe tras la Primera Guerra Mundial (que mató a veinticuatro millones de personas) o la pandemia de sida actual. Los impactos climáticos, como la «pequeña glaciación» acaecida a partir del año 1600, desencadenaron igualmente hambre, enfermedades y períodos de descenso de la población. A pesar de todo ello, el aumento a largo plazo de la población humana se mantuvo a medida que las sociedades de todo el mundo fueron controlando gradualmente los ecosistemas locales y mejorando sus destrezas para cultivar alimentos, talar bosques, aprovechar el viento y el agua, y expulsar del hábitat a otras especies. Pero tras un prolongado, paulatino e inestable aumento, todo iba a cambiar con la aparición de la era moderna.



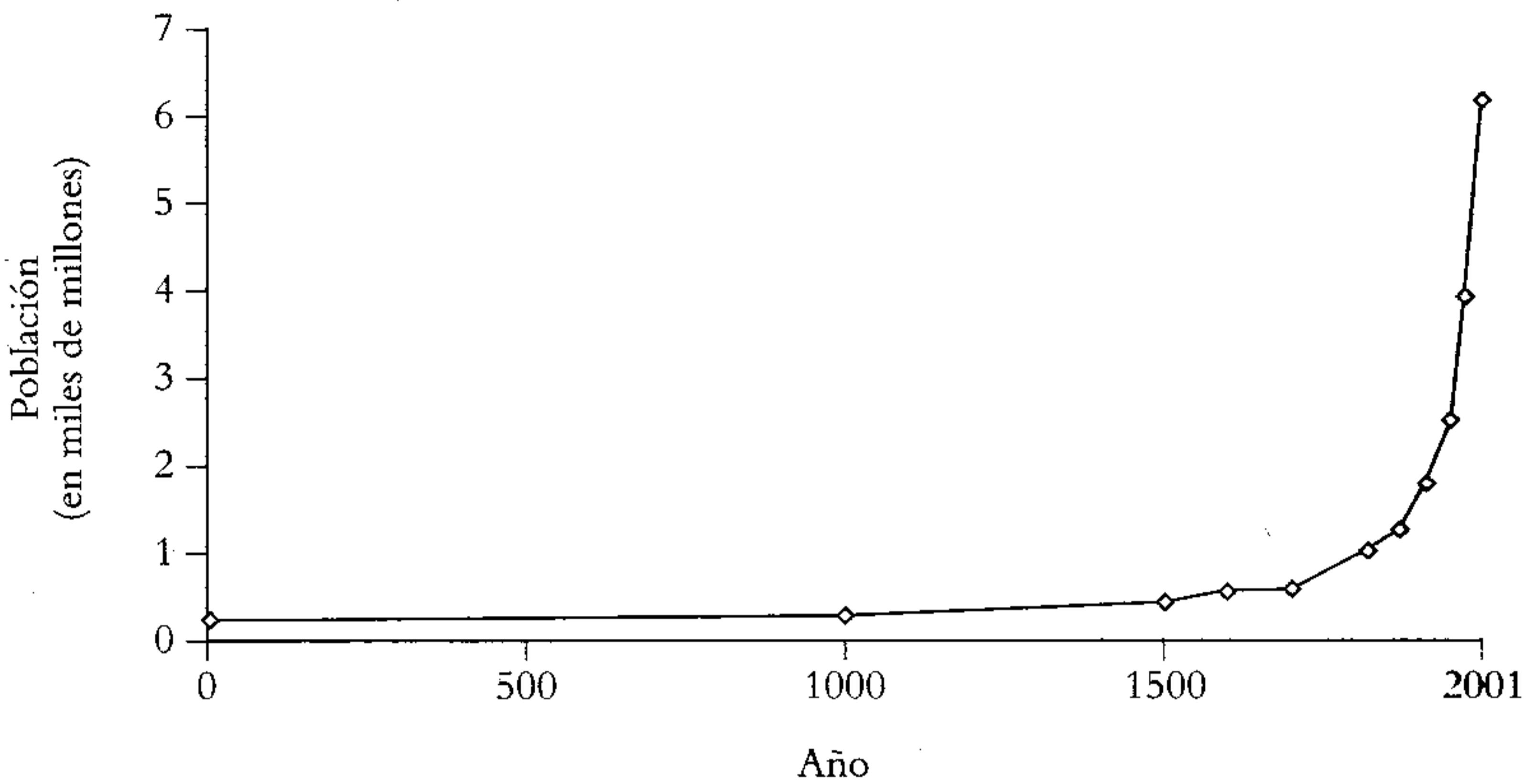
## EL DESPEGUE INDUSTRIAL

Nada preparó en realidad a la humanidad ni a la Tierra para lo que sucedería a partir de 1800. El incremento paulatino de la población humana, desde los tal vez diez millones de habitantes del año 8000 a.C. hasta los quinientos millones del año 1800, vino seguido de la explosión demográfica reflejada en la figura 3.1, que nos ha cambiado por completo a nosotros y a nuestro entorno natural. En el año 1800, década arriba, década abajo, ingresamos en la era del Antropoceno, período en el que la actividad humana se convirtió en la guía principal del entorno natural.

A partir del año 1800 aproximadamente, los límites tradicionales impuestos sobre la población humana dejaron paso a nuevas tecnologías sin precedentes. Hasta ese momento, la humanidad se las había arreglado con la energía solar de su tiempo, obtenida principalmente en forma de alimento, leña, fibras textiles y una muy modesta captación de energía eólica e hidráulica. Desde el año 1800, la humanidad ha dispuesto del tesoro escondido de la energía solar almacenada en los combustibles fósiles. Hasta el año 1800, cuando no sufría el asedio de epidemias, la población humana se veía limitada en número por la capacidad de cultivar alimentos y satisfacer otras necesidades básicas (combustibles para cocinar, tracción animal, agua, protección). A partir del año 1800, esos mismos límites pudieron empezar a ser superados mediante el carbón, el petróleo y el gas natural. Estos combustibles fósiles eran fruto de la fotosíntesis de tiempos muy remotos, tal vez entre 300 y 350 millones de años atrás, cuando la materia animal y vegetal había quedado enterrada en la corteza terrestre y oculta a la humanidad hasta que los mineros empezaron a extraerla al principio de la era industrial. Una vez que los seres humanos aprendieron a aprovechar esos combustibles, los límites tradicionalmente impuestos sobre el alimento, el agua, el transporte y el abrigo dejaron paso todos ellos a las nuevas tecnologías alimentadas por combustibles fósiles.

Aunque la revolución industrial comprendió un amplio abanico de ingeniosos avances tecnológicos que transformaron todas y cada una de las dimensiones de la vida, la máquina de vapor fue el

FIGURA 3.1. POBLACIÓN MUNDIAL DESDE EL AÑO I AL 2001



FUENTE: Datos tomados de Maddison (2001).

motor de arranque principal y el auténtico emblema de la misma. Ello se debe a que la movilización de todo un novedoso y abundante recurso energético (el carbón) fue el paso clave para todos los demás procesos industriales. El carbón hacía posible la producción fabril (por ejemplo, la industria textil), la industria pesada (la producción de acero), el transporte (carreteras, transportes oceánicos) y los procesos químicos, lo cual solucionó problemas enormes para abastecer a la sociedad humana. Podía transportarse alimento a distancias larguísimas, podían dedicarse a la producción de carne y grano zonas del interior como la pampa argentina, podían refrigerarse productos perecederos, se podía bombear agua a gran escala y a larga distancia, y así sucesivamente. Con los avances científicos vinculados a la electrificación de finales del siglo XIX, se pudieron aprovechar los combustibles fósiles (y la energía hidroeléctrica) para desarrollar ámbitos aún más amplios del sustento y el bienestar humanos. Y con la invención del motor de combustión interna, otro combustible fósil, el petróleo, pudo proporcionar la fuerza motriz decisiva del siglo XX.

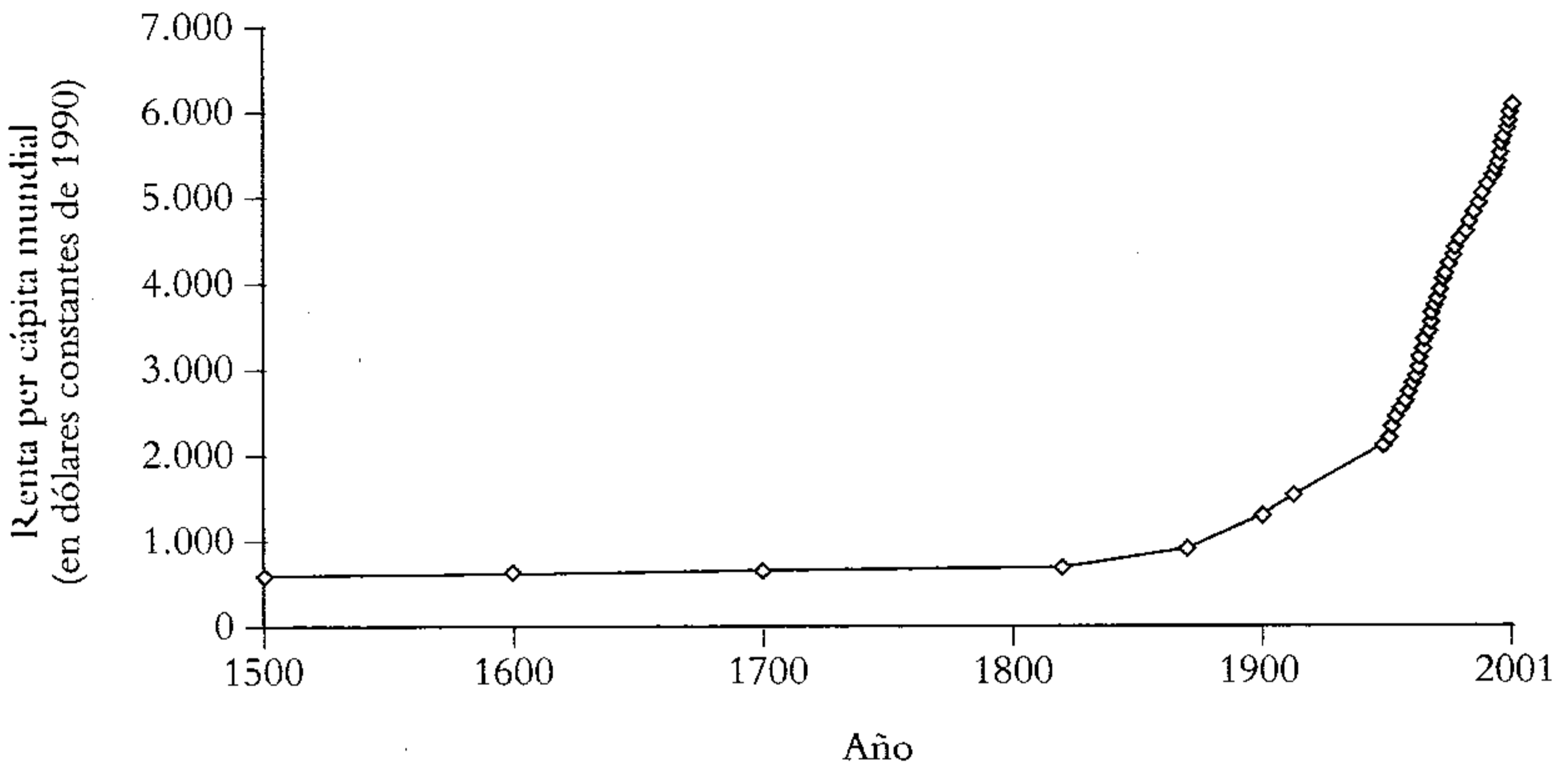
Curiosamente, todo aquel poderío industrial sin precedentes acumulado y movilizado durante la revolución industrial no fue capaz de vencer determinadas barreras de la supervivencia y el creci-



miento demográfico humano. A finales del siglo XIX, la producción de alimentos todavía encontraba el obstáculo de una restricción agraria elemental. Aun cuando en adelante se pudieran explotar vastas extensiones en todo el planeta, transportar equipamiento agrícola y alimentos a través de los océanos, aprovechar el agua para regar a una escala desconocida hasta la fecha, cultivar cereales con una eficiencia inalcanzable en el pasado y procesar a escala industrial y con gran celeridad productos agrícolas como el algodón, los nutrientes del suelo necesarios para cultivar todavía limitaban el abastecimiento de alimentos para la población mundial. La industrialización había mitigado un poco esa limitación al permitir el transporte marítimo a gran escala de los depósitos de nitratos naturales de Chile para abastecer de fertilizantes químicos a las explotaciones agrarias de Europa. Pero los nitratos estaban muy limitados en cantidad y demasiado restringidos por los costes de producción como para resolver el reto de los nutrientes. A finales del siglo XIX, un sobresaliente químico inglés, sir William Crookes, auguró que si no se descubrían nuevas formas de aprovechar el nitrógeno del suelo, la escasez de ese elemento en el suelo desembocaría en hambrunas con el estallido de población mundial.<sup>3</sup>

Una vez más, acudieron al rescate los combustibles fósiles. Entre 1908 y 1914, un grupo de científicos industriales encabezados por Fritz Haber y Carl Bosch desarrollaron un método para aprovechar la energía (el gas natural y, en menor medida, la energía hidrológica) con el fin de convertir el nitrógeno de la atmósfera ( $N_2$ ) en compuestos de nitrógeno como la urea, que sirvieran como nutrientes para las plantas. La invención del proceso Haber-Bosch para sintetizar fertilizantes químicos a base de nitrógeno no solo dio lugar a una inmensa industria global, sino que también inauguró la posibilidad biológica de emprender una expansión masiva del suministro de alimentos en todo el mundo. El factor limitador del nitrógeno del suelo había sido superado. La energía, y concretamente el combustible fósil, había liberado a la población humana. El historiador de la tecnología Vaclav Smil calcula que el proceso Haber-Bosch es responsable del 80 por ciento del incremento de la producción de cereales en el siglo XX.

FIGURA 3.2(A). RENTA PER CÁPITA DEL MUNDO DESDE 1500  
HASTA 2001

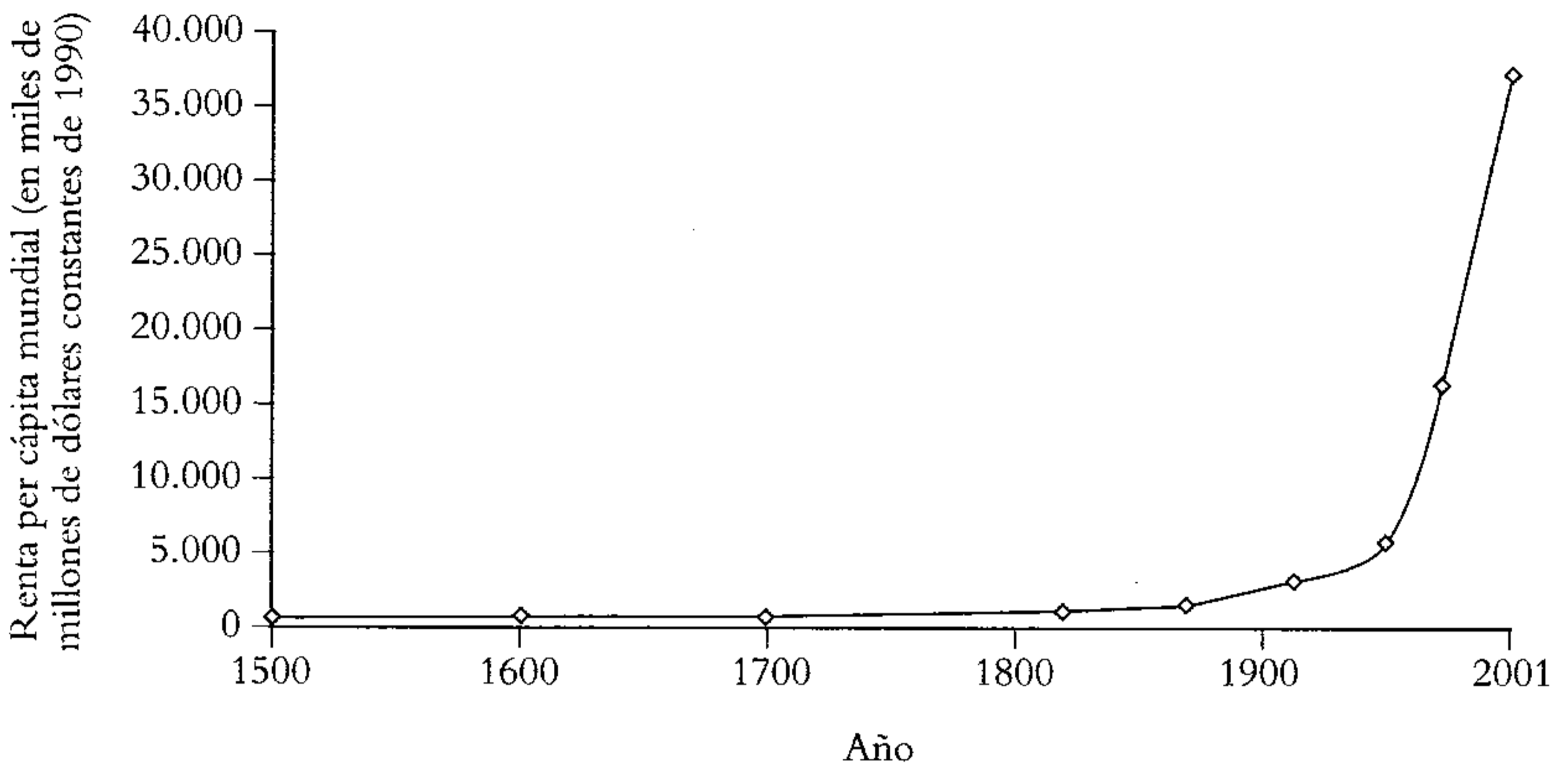


FUENTE: Datos procedentes de Maddison (2001).

La consecuencia más importante fue un acusado aumento de la población humana, que por término medio también pasó a estar mejor alimentada. Pese a las dos guerras mundiales, las enfermedades epidémicas en curso, los desplazamientos masivos de poblaciones y otros escollos para el incremento demográfico, la población mundial se multiplicó por cuatro en el siglo XX, para pasar de 1.500 millones de habitantes hasta más o menos 6.000 millones. Además, la era industrial había incrementado la productividad humana hasta unas cotas inimaginables. El despegue demográfico vino acompañado por un despegue simultáneo de la producción económica media por persona, como se muestra en la figura 3.2(a). Exactamente igual que sucedió con la población, la era industrial puso fin a las restricciones globales aparentemente insuperables impuestas sobre la productividad humana. El espectacular aumento de la población y la productividad conllevó, claro está, que la actividad económica experimentara una rápida expansión, tal como se aprecia en la figura 3.2(b).<sup>4</sup>



FIGURA 3.2(B). RENTA MUNDIAL DESDE 1500 HASTA 2001



FUENTE: Estimación a partir de datos de Maddison (2001)

## EL ANTROPOCENO

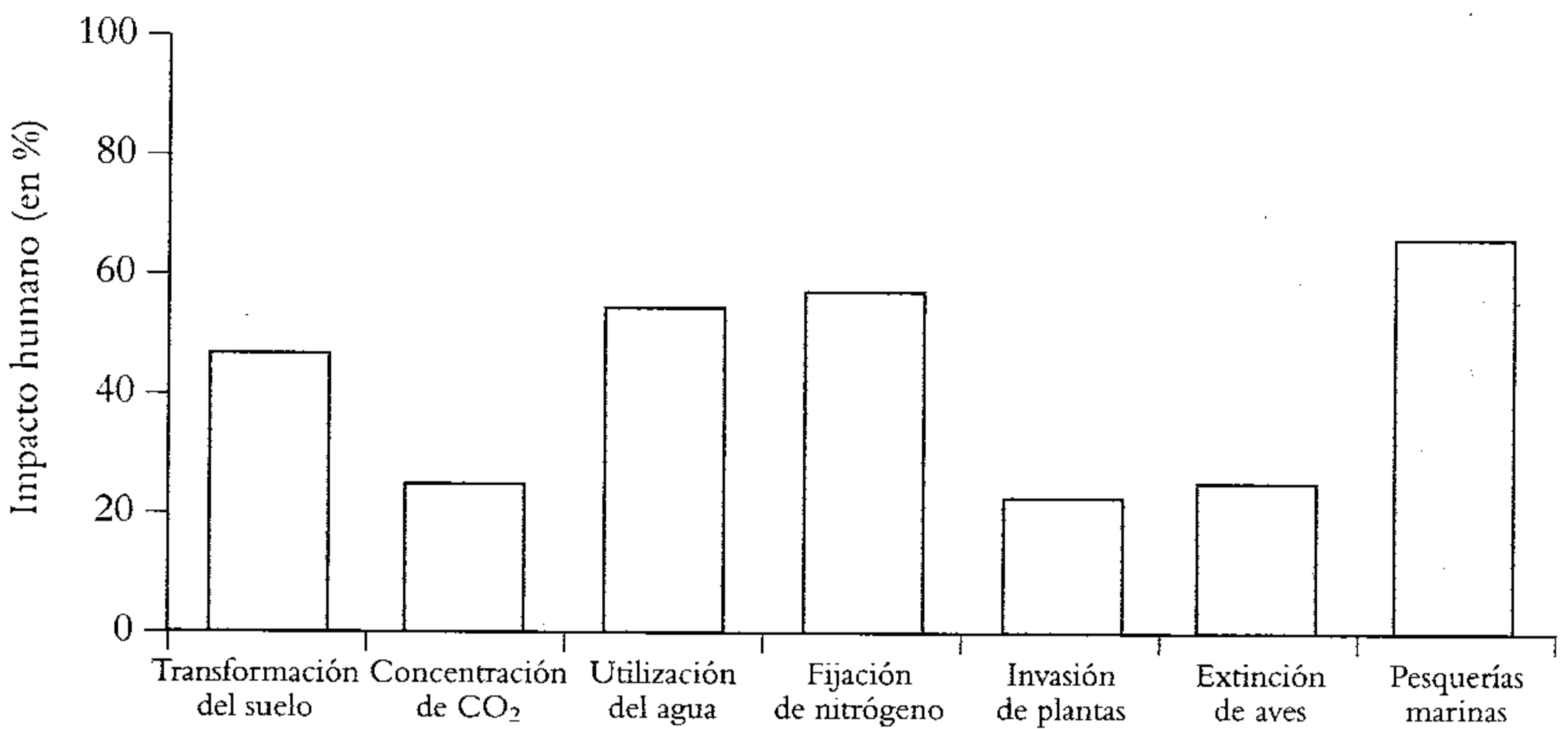
Pasados dos siglos desde la revolución industrial, la sociedad humana recoge en la actualidad los inmensos beneficios de todos estos éxitos tecnológicos espectaculares, pero también afronta riesgos masivos. Nos hemos vuelto tan adeptos a desbrozar el terreno de juego ecológico con el fin de satisfacer los deseos humanos que a menudo expulsamos literalmente al resto de la vida fuera de la escena. Parte de las consecuencias pueden comprenderse con facilidad. Al talar las tierras boscosas para cultivar y alimentar con pasto al ganado desaparecieron extensiones inmensas de árboles, y las pesquerías marinas han sido explotadas casi hasta su agotamiento actual, en que las poderosas flotas pesqueras siguen surcando los mares en grandes cantidades. Algunas consecuencias son mucho menos evidentes, lo cual dificulta percibir los vínculos entre nuestra acción y sus efectos sobre el planeta. La intrincada química de la atmósfera hace que uno de los efectos colaterales de la quema de combustibles fósiles sea la perturbación de los sistemas climáticos del planeta. El cambio climático producido por el ser humano no es un castigo divino por sus pecados, ni siquiera una consecuencia que pudiéramos haber predicho o

evitado con facilidad; se trata más bien de un accidente de la química, en concreto del accidente de que el dióxido de carbono tenga como consecuencia climática el efecto invernadero (descrito con detalle en el capítulo 4). Este factor es tan novedoso y se nos ha presentado hace tan poco tiempo que a la sociedad global le ha cogido demasiado desprevenida como para determinar cuál debe ser la respuesta.

Haber multiplicado por diez la población humana desde 1750 y haber soportado un crecimiento similar de la producción por persona en el planeta significa que el nivel de actividad económica de la sociedad humana tal vez sea un centenar de veces superior al que era al comienzo de la era industrial. Ese incremento se corresponde con el predominio de actividades encaminadas a imponerse a los procesos físicos de la Tierra para satisfacer el consumo humano: la tala de bosques y la producción agrícola, la utilización de la energía, las capturas piscícolas, el empleo de fertilizantes químicos, las presas y los desvíos de cursos fluviales, la construcción de carreteras y muchas otras cosas. No es de extrañar, pues, que los sistemas terrestres de los que depende nuestra existencia se hayan alterado de muchas formas adversas e inesperadas.

El premio Nobel de química Paul Crutzen ha apodado a nuestro tiempo como «el Antropoceno», una era en que la Tierra está dominada por el ser humano, porque el volumen de las actividades humanas es ahora tan grande que ha desbaratado todos los sistemas fundamentales para el sostenimiento de la vida.<sup>5</sup> El gran ecólogo de la Universidad de Stanford Peter Vitousek y sus colegas han precisado con suma precisión el extremo hasta el cual los seres humanos dominan hoy día los sistemas naturales. Uno de sus célebres estudios, expuesto en la figura 3.3, merece ser sopesado con atención. Expone la asombrosa historia de cómo la humanidad se apropia en la actualidad de los recursos vitales de los ecosistemas terrestres del planeta y deja que el resto de las especies se las arreglen con una plataforma de supervivencia cada vez más angosta. Vitousek y sus colegas se centran en siete ámbitos de los sistemas naturales de la Tierra para demostrar el grado de apropiación de los mismos por parte de los seres humanos. Fijémonos en cada uno de ellos, mostrados de izquierda a dere-

FIGURA 3.3. PREDOMINIO HUMANO O ALTERACIÓN DE VARIOS ELEMENTOS FUNDAMENTALES DEL SISTEMA TERRESTRE



FUENTE: Vitousek *et al.* (1997).

cha en el gráfico. Cada barra presenta un poderoso indicador de hasta qué punto la humanidad ha llegado a dominar algunos aspectos de procesos ecológicos fundamentales.

### *La transformación del suelo*

La limpieza de terrenos para destinarlos a usos agrícolas, ya sea para cultivos o para pastos, no es un fenómeno nuevo de la era industrial o capitalista. Es tan viejo como la propia humanidad. Desbrozamos terrenos principalmente para aprovechar en beneficio propio el producto de la fotosíntesis del planeta, en forma de tierras de cultivo o pastos, y en mucha menor medida para obtener espacio para nuestras viviendas, carreteras, aparcamientos, estadios y demás construcciones propias de asentamientos humanos. En un mundo de bosques inmensos y no menos de un centenar de millones de kilómetros cuadrados de tierra, el ser humano se apropia directamente de hasta el 50 por ciento del potencial fotosintético de la Tierra.<sup>6</sup> Los terrenos que se desbrozan ahora, o bien están en zonas cada vez más inhóspitas, o bien albergan reservas de diversidad biológica únicas y muy va-



lios, como los bosques tropicales que han venido sucumbiendo al hacha en las últimas décadas. En pocas palabras: nos estamos quedando sin terreno que desbrozar. Los seres humanos seguirán aumentando la presión sobre la superficie terrestre a medida que la población crezca y las poblaciones más ricas quieran aumentar su dieta de carne (lo que exige unas extensiones de terreno inmensas para la hierba y el grano con el que alimentar al ganado). Pero estas presiones ejercidas sobre el suelo amenazan ahora con una desaparición generalizada de otras especies, cuyos hábitats está eliminando la incansable invasión humana.

### *Concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)*

El dióxido de carbono es un gas presente de forma natural en la atmósfera de la Tierra. Antes de la era industrial, durante centenares de miles de años, el nivel de CO<sub>2</sub> de la atmósfera era del orden de 280 moléculas por millón de moléculas de aire. (Por lo general se expresa como «280 partes por millón» o «ppm».) El dióxido de carbono tiene un ciclo natural muy complejo. En el transcurso de todo un año, los árboles absorben el dióxido de carbono atmosférico en la fotosíntesis con el fin de producir carbohidratos, mientras que los animales descomponedores digieren los carbohidratos (por ejemplo, de las hojas caídas) y devuelven el CO<sub>2</sub> al aire. A escala geológica, el CO<sub>2</sub> es emitido a la atmósfera por los volcanes y reabsorbido por los océanos y la corteza terrestre. Pero ahora, en la era industrial, se están liberando cantidades ingentes de CO<sub>2</sub> en el aire mediante la quema de combustibles fósiles, que combinan el carbono (C) de los combustibles con el oxígeno atmosférico (O<sub>2</sub>) para dar lugar al CO<sub>2</sub> y a la liberación de energía (¡infinitud de energía!). Como muestra la figura 3.3, los seres humanos han interferido de forma muy significativa en el ciclo del carbono, hasta tal punto que aproximadamente la cuarta parte de todo el dióxido de carbono presente hoy en la atmósfera es consecuencia de la actividad humana reciente. A diferencia de las 280 ppm de la era preindustrial, en la actualidad la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera es de 380 ppm

Este incremento de 100 ppm es fruto de la deforestación y la quema de combustibles fósiles. Hoy sabemos casi con total certeza que el resultado es que la actividad humana está alterando de forma decisiva el clima, ya que el  $\text{CO}_2$  absorbe calor del sol, calienta el planeta y modifica infinidad de procesos ecológicos (incluidas las precipitaciones, las tormentas tropicales, la productividad agrícola, la transmisión de enfermedades y muchas otras cosas).

### *Utilización del agua*

Para la producción de alimentos y otras finalidades más generales, la fotosíntesis requiere agua junto con nutrientes del suelo, semillas y luz solar. Los seres humanos también necesitan a diario agua para su uso personal (bebida, higiene, saneamiento) y para los procesos industriales. La mayor parte del agua se destina a usos agrícolas, que consumen aproximadamente el doble de agua que todas las demás finalidades juntas. Exactamente igual que hay un ciclo natural del carbono, también existe un ciclo natural del agua (hidrológico). La radiación solar calienta la Tierra y produce la evaporación del agua de las superficies terrestres y las masas acuáticas, y la transpiración de agua a través de las hojas de las plantas. La evapotranspiración resultante da lugar a nubes, precipitaciones y cierto retorno de agua a la tierra y los mares. Parte del agua que cae sobre la tierra se evapora o transpira directamente, mientras que otra va a parar a los océanos a través de los cursos fluviales. De manera similar, parte del vapor de agua que se evapora de los océanos regresa en forma de precipitaciones directamente sobre los océanos, mientras que otra parte es transportada por el viento a zonas terrestres en las que se producen las precipitaciones.

Los seres humanos han interferido de manera muy intensa en el ciclo hidrológico, principalmente para garantizar el agua requerida por la producción alimentaria de la humanidad. Como muestra la figura 3.3, mediante presas, sistemas de regadío y otras actividades de desviación de los cursos de agua el ser humano se apropia para su uso del 60 por ciento de las aguas vertidas a ríos accesibles. El domi-

nio de los cursos de agua dulce es ahora tan elevado que muchos de los grandes ríos del mundo (entre ellos el Ganges en la India, el Amarillo en China y el río Grande entre Estados Unidos y México) ya no llegan al mar. Además, la construcción de presas en los ríos suele originar una competición de suma cero en la que el superior número de usuarios del curso alto priva del agua que necesitan para sobrevivir tanto a los seres humanos como a los ecosistemas naturales del curso bajo. De manera más general, es probable que en los próximos años la actividad humana contribuya a ocasionar graves crisis hidrológicas. Las aguas subterráneas (es decir, el agua de los acuíferos subterráneos) están siendo extraídas del subsuelo para el riego a un ritmo muy superior al que se repone de forma natural. El nivel freático está descendiendo rápidamente y los pozos de riego se están secando en muchos lugares, sobre todo en China y la India. En aras del desarrollo económico se están desecando los humedales, sobre todo para crear explotaciones agrarias y para la expansión urbana, lo cual tiene consecuencias adversas para los procesos biológicos y la biodiversidad. Y, por supuesto, se están contaminando masivamente importantes cursos de agua.

### *Fijación de nitrógeno*

El nitrógeno predomina en la atmósfera de la Tierra, de la cual compone el 78 por ciento de las moléculas. El nitrógeno también es vital para todos los organismos vivos, ya que es el elemento básico de las proteínas. Pero la forma de nitrógeno presente en la atmósfera,  $N_2$ , no está directamente a disposición de los animales o las plantas para su aprovechamiento en procesos biológicos. El triple enlace que mantiene unidos a los dos átomos de nitrógeno es demasiado fuerte para que pueda romperse en la mayoría de los procesos metabólicos. Algunos «especialistas» biológicos presentes en el nitrógeno, sobre todo determinados tipos de bacterias, son capaces de utilizar energía para convertir el  $N_2$  en diferentes compuestos a base de nitrógeno (nitratos, amoníaco, etcétera), que a continuación pueden ser absorbidos biológicamente y utilizados por otros animales y plantas para



formar proteínas y contribuir a sus funciones biológicas. Los relámpagos, además, pueden dividir la molécula de  $N_2$  y depositar nitratos y amoníaco sobre la Tierra de forma natural.

El proceso de conversión del nitrógeno atmosférico en nitrógeno activo se denomina «fijación del nitrógeno». El problema actual reside en que los procesos de fijación natural son demasiado lentos para proporcionar las inmensas cantidades de nitrógeno necesarias para abastecer a los cultivos alimentarios suficientes con que alimentar a los 6.600 millones de habitantes del planeta, y menos aún a los entre 7.000 y 9.000 millones que tendrá el mundo a mediados del siglo XXI. Para remediar eso llegó el proceso Haber-Bosch a principios del siglo XX. Y además de los fertilizantes químicos, los agricultores también refuerzan el ciclo natural plantando cultivos leguminosos como la alfalfa o la soja, cuyas raíces contienen bacterias fijadoras del nitrógeno. Como muestra la figura 3.3, la cantidad de nitrógeno fijado mediante fertilizantes químicos y la selección humana de cultivos gira en la actualidad en torno al 50 por ciento de la fijación total de nitrógeno en la Tierra. Los fertilizantes a base de nitrógeno son esenciales para alimentar a las plantas, pero si se utilizan en exceso, como sucede en muchas partes del mundo, los costes pueden llegar a ser muy altos. La intervención humana en el ciclo del nitrógeno está contaminando también los ríos y arroyos con flujos excesivos de nitratos, amoníaco y otros productos químicos nitrogenados. Las consecuencias son el envenenamiento del agua y la destrucción generalizada de estuarios y cursos fluviales, alimentados con flujos de agua que atraviesan grandes regiones agrícolas.

### *Invasión de plantas*

Desde los primeros tiempos de la agricultura, los seres humanos han estado transportando semillas, plantas y animales de algunos lugares del planeta a otros. Muy a menudo, la introducción de especies no autóctonas en un espacio nuevo ha sido deliberada, como cuando se introdujo en Europa la patata procedente de los Andes. A veces, la introducción de especies pasa inadvertida, como cuando los jacintos

invadieron el lago Victoria y lo asfixiaron al privar de la luz del sol a gran parte de su superficie. Los seres humanos han venido reorganizando la ecología de la Tierra sin saber mucho acerca de los efectos colaterales y las consecuencias imprevistas. La introducción de algunas especies actúa como una invasión de malas hierbas que se adueñaran de un ecosistema desprovisto de los mecanismos de defensa adecuados. Las plagas y los agentes patógenos se trasladan con facilidad de un lugar a otro. Las sentinas de los barcos pueden transportar bacterias y otros agentes infecciosos. Como señalan Vitousek y sus colegas, «en muchas islas, más de la mitad de las especies de plantas no son autóctonas, y en muchas zonas continentales la cifra asciende al 20 por ciento o más». Vitousek y sus colegas lo ilustran en la figura 3.3 con el ejemplo de Canadá, donde se estima que el 20 por ciento más o menos de las especies vegetales proceden de otro lugar y han sido introducidas por la actividad humana. En general, las consecuencias de esta práctica son complejas, habitualmente impredecibles y en ocasiones devastadoras para las especies autóctonas y para el buen funcionamiento de los ecosistemas locales.

### *Extinción de aves*

Los ecologistas nos advierten que estamos atravesando el sexto gran episodio de extinción de especies de la Tierra. Según parece, los animales y las plantas se están extinguiendo a un ritmo entre cien y mil veces superior al ritmo natural de extinción anterior al predominio humano en los ecosistemas de la Tierra. Los cinco episodios anteriores fueron consecuencia de perturbaciones naturales a gran escala de los procesos ecológicos de la Tierra, como colisiones con asteroides, cambios en el clima del planeta a causa de procesos geológicos de la superficie terrestre como erupciones volcánicas o modificaciones de la órbita de la Tierra. El actual episodio de extinciones masivas es el único en el que una especie ha empujado al abismo a las demás. Como refleja la figura 3.3, se estima que alrededor de la cuarta parte de todas las especies de aves de la Tierra han desaparecido como consecuencia de las actividades humanas de los dos últimos milenios.

Ello no debería sorprendernos del todo, aunque sí deberíamos lamentarnos y poner freno a nuestra capacidad de destrucción. Al fin y al cabo, la actividad humana está dirigida de forma bastante explícita a garantizar que el hábitat, el abastecimiento de agua, los flujos de nutrientes y la introducción de especies sirvan todos ellos a las necesidades humanas, en lugar de a las necesidades de otras especies.

### *Pesquerías marinas*

Las sociedades cazadoras-recolectoras tradicionales, incluidas las anteriores a la era de la agricultura y las escasísimas tribus similares que quedan en la actualidad, cazaban con arcos, flechas y dardos envenenados. En la era industrial, la industria pesquera global constituye la principal actividad cazadora y recolectora. Las flotas pesqueras recorren los mares y rastrean los lechos marinos en busca de vida marina valiosa, con muy poca o ninguna voluntad de reponer lo que se llevan. El resultado se ha comparado con unos cazadores-recolectores que portaran ametralladoras. Sencillamente, las presas naturales no son rival para la increíble fuerza y tecnología de las flotas pesqueras modernas, equipadas con redes de pesca que abarcan muchas millas marinas y se guían por satélite en busca de bancos de peces en mar abierto. Alrededor de dos tercios o más de los principales caladeros del mundo están «explotados a pleno rendimiento, sobreexplotados o agotados».<sup>7</sup>

### PRESIONES CRECIENTES

Si las tasas de actividad económica de hoy día mantuvieran en el futuro su ritmo de crecimiento actual y con las mismas tecnologías, serían insostenibles desde el punto de vista medioambiental. Pero tanto la población como la renta per cápita están aumentando con rapidez. La presión ejercida sobre los ecosistemas es cada vez mayor y el desarrollo y la difusión de tecnologías sostenibles son demasiado lentos. Si nos limitamos a incrementar proporcionalmente lo que



consumimos hoy día, colocaremos a muchos de los ecosistemas del planeta y a un sinnúmero de especies al borde del colapso.

El vaticinio más famoso del día del juicio final se produjo en 1798 y lo emitió el reverendo Thomas Malthus, que señaló que las poblaciones tienden a aumentar de forma geométrica (multiplicativa) al tiempo que la producción de alimentos solo aumenta de forma aritmética (aditiva). Las poblaciones se verían así frenadas principalmente por la pobreza. Malthus opinaba que las ganancias obtenidas en productividad serían devoradas rápidamente por los nuevos incrementos demográficos, que harían disminuir de nuevo la mejora provisional de los niveles de vida hasta cotas de mera subsistencia. Por tanto, según Malthus, la humanidad estaba condenada a ver contrarrestado cualquier progreso temporal del nivel de vida por el excesivo crecimiento demográfico. El pesimismo que destila este argumento ha seguido siendo una fuente continua de debate y polémica.

Sin duda, Malthus no consiguió prever la llegada de la era industrial y sus aumentos geométricos de la productividad, que aventajan con mucho a los incrementos geométricos de la población. En vista de ese llamativo error del augurio, algunos economistas se han vuelto inveteradamente optimistas y han reiterado a la opinión pública, a los políticos y a sí mismos que las mejoras tecnológicas acudirán invariablemente al rescate de los tiempos. Han tratado de condenar a Malthus a la pila de desechos de las predicciones fallidas, y de nuevo podrían estar otra vez en lo cierto... pero no sin duda si sorteamos estos riesgos con el piloto automático.

Los optimistas cuentan con dos factores importantes a su favor. El primero es la probabilidad de que la población global se estabilice en este siglo. Indudablemente, Malthus no podía prever la aparición de los anticonceptivos modernos ni la rápida adopción de la contracepción en la mayoría de las sociedades del mundo. La segunda causa para el optimismo es que los avances tecnológicos continúan siendo rápidos y probablemente estén acelerándose. Las revoluciones vividas por la informática, la gestión de datos, las ciencias ecológicas, el diseño de espacios, la ciencia de los materiales (incluida la nanotecnología) y otras áreas del conocimiento indican que las

tecnologías, al menos potencialmente, pueden volver a salvarnos a nosotros y al planeta. La ciencia y la tecnología pueden ser aprovechadas en nuestro favor. Lo que no está tan claro es si seremos capaces de organizarnos lo bastante bien y cooperar del modo adecuado a escala global para no dejar escapar la oportunidad.

Pero no debemos sentirnos satisfechos. La población global continúa aumentando con rapidez, como también lo hace la actividad económica media por persona. Y, lo que es igual de importante, las fuertes presiones derivadas de la apropiación masiva por parte de los seres humanos de los servicios del ecosistema (tierra, agua, dióxido de carbono, nitrógeno y demás) serían ya lo suficientemente desafiantes si se produjeran solo en uno de esos ámbitos... pero ahora se producen simultáneamente y en todos los frentes. Si nos fijamos en casi cualquier hábitat del planeta, descubrimos que las especies no humanas que viven en él están sufriendo unas tensiones sin precedentes por múltiples razones. Sus hábitats se están viendo desbordados por las tierras de cultivo, la contaminación, la caza y recolección excesiva, las especies invasivas y nuevas plagas y agentes patógenos. Y cuando se alcanzan umbrales catastróficos, como la muerte masiva de especies de anfibios en muchos lugares del mundo, hay tantos culpables concretos implicados que no es posible determinar una única causa. La amenaza generalizada para la supervivencia de las especies no se debe en exclusiva al desbroce de tierras, a la presión sobre el agua, a la contaminación o a las especies invasivas, sino a la combinación de todas ellas con la interacción y amplificación de los efectos que dicha combinación comporta. ¿Sobrevivirán los arrecifes de coral al siglo XXI? Y si no, ¿qué es lo que acabará con ellos? El calentamiento global elevará la temperatura de los océanos y supondrá el blanqueo generalizado de los corales, un proceso en virtud del cual los corales expulsan las microalgas que les confieren sus deslumbrantes colores y que a menudo suele ocasionar la muerte del propio coral. Los arrecifes sufrirán la amenaza de la pesca abusiva en ellos y en sus inmediaciones, de la contaminación, del incremento de la intensidad de las tormentas tropicales, de la destrucción directa a manos de los turistas y de la acidificación del océano debida al aumento de la concentración de dióxido de carbono en el aire y en la superficie del agua. Los arreci-

fos de coral de todo el mundo ya están gravemente deteriorados y las múltiples causas de su degradación están intensificándose.

Un estudio reciente de la degradación de los litorales y estuarios aporta más pruebas al argumento de que la degradación medioambiental es fruto de múltiples ataques, en lugar de ser consecuencia de un único factor.<sup>8</sup> La degradación de estas zonas costeras es masiva e inconfundible. Según se resume en el estudio:

La reconstrucción de la sucesión de acontecimientos a lo largo del tiempo, de las causas y las consecuencias del cambio sufrido en doce estuarios y litorales marítimos de todo el mundo otrora diversos y productivos, exhibe pautas similares: las actividades humanas han agotado más del 90 por ciento de especies anteriormente importantes, han destruido más del 65 por ciento de las algas marinas y los hábitats pantanosos, han degradado la calidad del agua y han acelerado la invasión de especies.<sup>9</sup>

No obstante, los hallazgos concretos acerca de los impactos son igualmente importantes:

Los datos obtenidos indican que los impactos humanos no actúan de forma aislada. En el 45 por ciento de los casos de especies amenazadas y en el 42 por ciento de los casos de extinción se vieron implicados múltiples impactos humanos; por regla general, la explotación abusiva [capturas] y la degradación del hábitat. Estos efectos sinérgicos han sido relevantes para las extinciones terrestres y los agotamientos de estuarios.<sup>10</sup>

Del mismo modo que la multiplicidad de impactos humanos suele estar implicada en la degradación grave, para recuperar un ecosistema degradado suele ser necesaria una intervención en múltiples planos. Para «rebobinar la película» y recuperar los servicios perdidos de los ecosistemas, raras veces basta con eliminar una única fuente de presión humana:

Aunque el 22 por ciento de los casos de recuperación [de ecosistemas] fueron fruto de la mitigación de un único impacto humano, en



la mayoría de los casos de explotación (el 78 por ciento), fueron consecuencia de la reducción de al menos dos impactos, principalmente la protección del hábitat y las restricciones impuestas a su explotación, pero también de la contaminación.<sup>11</sup>

Pero, por desgracia, parte de la degradación es extremadamente difícil de revertir, cuando no imposible.<sup>12</sup> Como es lógico, la desaparición de especies excede toda posible reparación (al menos, con las tecnologías actuales). En términos más generales, el estudio reveló que, si bien las labores de conservación han tenido algunos efectos positivos en las costas y estuarios, «hasta el momento han fracasado en la recuperación de la anterior estructura y funcionamiento del ecosistema».

#### CHINA Y EL MEDIO AMBIENTE GLOBAL

Al tiempo que mejora el bienestar de centenares de millones de personas, el auge económico de China ilustra el tipo de presión global que marcará las décadas venideras. En cierto sentido, es injusto culpar a China por seguir la trillada senda de los países ricos, ya que no es más ni menos responsable del perjuicio medioambiental; pero la envergadura y la rapidez del crecimiento económico de China vuelven particularmente vívido el impacto medioambiental global ocasionado por este país. China ya es uno de los principales países causantes del cambio climático, y se espera que ocurran más cosas.

En la actualidad, China está incorporando el equivalente a dos centrales térmicas de carbón de 500 megavatios a la semana, lo cual equivale anualmente a la capacidad total de abastecimiento de la red eléctrica británica.<sup>13</sup> Las consecuencias sobre el cambio climático global son inmensas. La Agencia Internacional de la Energía calcula que China ha superado a Estados Unidos en volumen anual de emisiones de dióxido de carbono a raíz de la utilización de combustibles fósiles y, por consiguiente, será el país que más contribuya al cambio climático producido por el hombre en los años venideros. Las consecuencias medioambientales globales de China incluyen también

tormentas masivas de polvo debidas a la degradación a gran escala del suelo, la contaminación del aire y la introducción de nuevas enfermedades infecciosas, como el SARS.

La demanda de materias primas de todo el mundo por parte de China ya es inmensa y crece con mucha rapidez, lo cual tiene consecuencias medioambientales y económicas muy importantes, entre las que se encuentran las siguientes:

- Entre las posibles consecuencias de la importación masiva de soja de Brasil, en buena medida para alimentar animales con los que atender el creciente consumo de carne, se encuentra la deforestación a gran escala de la Amazonia para dejar espacio al incremento de producción de soja.
- Entre las posibles consecuencias de la importación masiva de maderas tropicales duras procedentes del sudeste asiático y, cada vez más, de África, con las que sustentar la creciente construcción de viviendas y centros comerciales, se encuentra la deforestación a gran escala de todo el sudeste de Asia y ciertas zonas de África.
- La importación masiva de petróleo procedente de Oriente Próximo y del mar Caspio contribuye al rápido incremento del precio global de la energía y puede tener repercusiones adicionales, como el desbroce de tierras para obtener etanol a base de maíz con el que sustituir el carísimo petróleo.
- Entre las consecuencias de la importación masiva, tanto legal como ilegal, de artículos relacionados con animales exóticos, a menudo para obtener manjares o afrodisíacos, podría encontrarse la extinción de parte de la megafauna de África y Asia.

Pensemos ahora en el hecho de que la economía china en su conjunto duplica su envergadura cada ocho o diez años, de manera que es inevitable que se produzca un incremento formidable del nivel de consumo. Por poner tan solo un ejemplo, en el año 2003 había en China unos 24 millones de vehículos de motor; aproximadamente 18 por cada 1.000 habitantes. En Estados Unidos hay aproximada-

mente 250 millones de vehículos de motor, o, lo que es lo mismo, unos 800 por cada 1.000 habitantes. La producción anual de vehículos en China está aumentando en la actualidad hasta cifrarse en aproximadamente 7 millones de vehículos en el año 2006, partiendo de los solo 2 millones fabricados en el año 2000.<sup>14</sup> Si en el año 2050 China alcanza siquiera la mitad de la densidad de vehículos de motor de Estados Unidos, ello supondría más o menos... ¡560 millones de vehículos chinos en las carreteras! Ese incremento equivaldría al doble del parque total de vehículos estadounidenses. Aun cuando el parque de vehículos fuera capaz de recorrer en esa fecha el doble de kilómetros por litro de gasolina de los que consiguen recorrer hoy los vehículos estadounidenses, el petróleo que consumirían (y las emisiones de carbono) igualaría aproximadamente al utilizado por la totalidad del sector del transporte estadounidense en la actualidad. Esto, claro está, no es un pronóstico, sino únicamente un ejemplo más de la envergadura del volcán energético y climático sobre el que está encastrado el mundo.

Podemos realizar otros cálculos igualmente alarmantes acerca de la creciente demanda de alimento (sobre todo, del aumento del consumo de carne), de consumo eléctrico, de agua, etcétera, de China. Dichos cálculos no significan que el crecimiento de China (o, en ese sentido, el crecimiento global del cual China representa solo una parte) sea incompatible con la sostenibilidad medioambiental global, sino tan solo que lo será a menos que haya una adopción profunda y generalizada de tecnologías sostenibles: nuevas formas de producir electricidad, de propulsar coches y demás medios de transporte, de cultivar alimentos, de utilizar los recursos de agua dulce y similares.

## CAMBIO MEDIOAMBIENTAL BRUSCO

Pero otra razón más para preocuparse es que todas estas alteraciones medioambientales pueden ser desencadenadas por acontecimientos subyacentes relativamente menores denominados «forzantes», tanto si son inducidos por el hombre como si son naturales. Pequeños forzantes pueden ocasionar cambios monumentales si desencadenan



transformaciones posteriores que amplifiquen el forzante original y si esos cambios posteriores provocan aún más cambios que también empujen en la misma dirección. Se produce una especie de reacción en cadena en la que el impacto completo es muy superior al forzante original.

Utilizaremos como ejemplo ilustrativo el mayor de los cambios medioambientales de la Tierra: el tránsito hacia las glaciaciones y los grandes deshielos durante los últimos dos millones de años. El calendario del inicio y la finalización de las glaciaciones en ciclos de unos cuarenta y un mil años guarda relación con cambios sutiles de la órbita de la Tierra, sobre todo del ángulo de inclinación de su eje, así como también de la forma de su órbita en torno al Sol. Estos cambios orbitales desencadenaron los procesos físicos que dieron pie a las glaciaciones y a su posterior finalización. Los científicos afirman que las glaciaciones vienen reguladas por los cambios orbitales. Las fluctuaciones orbitales afectan a la cantidad de radiación solar que llega al suelo terrestre y al agua, y por tanto a la temperatura del planeta. Pero he aquí un detalle interesante: se pueden calcular con bastante precisión las variaciones de radiación solar que acompañan a un cambio de órbita. Estas variaciones pueden explicar la dirección de las fluctuaciones de la temperatura de la Tierra, pero no su magnitud ni, por tanto, los ciclos de aparición y retirada de los hielos.

Los científicos han descubierto que lo que está sucediendo es que las pequeñas variaciones en la llegada de la radiación solar desencadenan otros cambios en el sistema climático de la Tierra, que a continuación amplifican el forzante solar inicial. El cambio de la órbita inicia el proceso, pero resulta que no es el efecto más relevante en última instancia. Dos efectos de este tipo de retroalimentación parecen ser los más importantes. En primer lugar, cuando la pauta orbital empieza a calentar la Tierra, parte de los hielos empiezan a fundirse. Cuando los rayos del sol inciden en el hielo, esos rayos retornan reflejados en su mayor parte al espacio. Si los rayos de sol inciden en el agua del mar o en la superficie terrestre en lugar de en el hielo (porque ya se ha derretido), ya no rebotan hacia el espacio, sino que son absorbidos por el suelo y, por consiguiente, calientan más el planeta. El calentamiento inicial debido a la alteración de la órbita da

pie a posteriores aumentos de la temperatura debidos a las alteraciones sufridas por la superficie de la Tierra, cuyo volumen total de hielo ha descendido en favor del agua y la superficie terrestre. El grado en que la Tierra refleja la radiación solar en lugar de absorberla se denomina «albedo» de la Tierra.

Haciendo uso de la jerga científica, podemos decir que el calentamiento debido a la variación orbital da pie al mecanismo de retroalimentación positiva que se traduce en el descenso del albedo de la Tierra, lo cual significa que un planeta más cálido absorbe más radiación incidente y devuelve reflejada menos radiación al espacio. Hay un segundo mecanismo de retroalimentación positiva que afecta al dióxido de carbono. Como la alteración orbital calienta el océano, parte del dióxido de carbono disuelto en el agua del océano aflora en forma de burbujas a la superficie y llega al aire, como cuando se libera dióxido de carbono de un vaso de soda caliente. El dióxido de carbono liberado de los océanos actúa como un gas de efecto invernadero, lo cual calienta aún más el planeta.

La cuestión es que lo que en principio era una pequeña alteración inicial de la temperatura debida a la órbita de la Tierra ha dado pie a una transformación muy grande de la temperatura del planeta debido a dos mecanismos de retroalimentación que lo amplifican: el albedo y la liberación de dióxido de carbono de los océanos. Un pequeño forzante puede producir así un resultado descomunal... ¡nada menos que la aparición o la conclusión de una glaciación! Los ecosistemas están repletos de este tipo de mecanismos de retroalimentación positiva que contribuyen a favorecer que se produzcan grandes cambios en los procesos terrestres. Y aunque lo que desencadenó los mecanismos de retroalimentación positiva del albedo y la liberación de  $\text{CO}_2$  de los océanos durante la época de las glaciaciones fue un cambio orbital, podrían ser perfectamente forzantes humanos los que desencadenaran ahora un proceso semejante.<sup>15</sup>

Hay otro fenómeno ecológico importante ligado estrechamente a los mecanismos de retroalimentación positiva: el efecto umbral. En la naturaleza abundan los umbrales. Un ligero aumento de la temperatura puede suponer la muerte, la pérdida de una cosecha, la transmisión de una enfermedad epidémica o un fuerte aumento

del nivel del mar como consecuencia de la fusión de capas de hielo.<sup>16</sup> El incremento del uso de vacunas en una población que, pongamos por caso, pase del 50 al 70 por ciento, puede ocasionar que una epidemia desaparezca por completo. Una leve disminución de la población de animales puede iniciar un proceso de desaparición final del conjunto de dicha población.

Cuando un sistema natural se caracteriza por combinar umbrales con mecanismos de retroalimentación positiva, es probable que también se caracterice por experimentar cambios bruscos, lo cual ocasiona los cambios espectaculares que se producen cuando el sistema traspasa un umbral y, entonces, provoca una reacción en cadena de retroalimentaciones positivas. Mi colega Wallace Broecker, el decano de la ciencia que estudia el cambio climático brusco, ha analizado en profundidad uno de los mecanismos de este tipo más famosos.<sup>17</sup> Se trata de la súbita alteración de la pauta del «cinturón transportador oceánico», que traslada grandes cantidades de agua del océano en un proceso global de circulación. Un ejemplo significativo es el período glacial denominado «Dryas reciente», que se inició hace unos 12.800 años, cuando la Tierra salía paulatinamente de su última glaciación. Según expone Broecker, el calentamiento gradual de la Tierra se tradujo en la fusión de un gigantesco glaciar de Norteamérica, lo cual ocasionó acto seguido una inundación torrencial que vertió una inmensa cantidad de agua de deshielo en el océano Atlántico. La repentina aportación de agua dulce al Atlántico Norte alteró a su vez la pauta de circulación de calor del océano, y ello facilitó la rápida formación de capas de hielo en el Atlántico Norte. Cuando se formaron esas capas de hielo, la retroalimentación positiva adicional causada por el aumento del albedo redujo aún más la temperatura, lo cual favoreció la proliferación de capas de hielo. El resultado final fue un asombroso descenso de las temperaturas de entre 5 y 10 grados en solo unas pocas décadas. Así, tras un largo período de calentamiento paulatino mientras la Tierra salía de la fase de glaciación anterior, hubo un enfriamiento brusco y repentino que se prolongó durante unos mil años.<sup>18</sup>

A medida que la humanidad vaya llevando los ecosistemas a sus límites, estamos destinados a sorprendernos con las consecuencias,



incluidas las repentinas. O, en palabras de Broecker, la humanidad está «azuzando a la bestia» de la naturaleza con imprudencia, la cual en un principio puede perfectamente no dejarse afectar, pero responder después con violencia a las provocaciones humanas. En una era de sida, desaparición de especies, incidencias climáticas extremas y repentinas y otras muchas cosas, estamos acostumbrándonos al hecho de que la naturaleza, bajo presión, aseste golpes repetidos, poderosos e imprevistos. Con unos ecosistemas amenazados por múltiples forzantes humanos (impactos humanos) a unos niveles jamás vistos con anterioridad, debemos esperar consecuencias graves e intempestivas. Los sistemas climáticos pueden sufrir cambios agudos y repentinos de sus condiciones cuando se traspasan los umbrales. Los incrementos de temperatura derivados del calentamiento global pueden tener consecuencias prácticamente inapreciables hasta un determinado momento, pero un pequeño aumento adicional puede traducirse en consecuencias devastadoras (por ejemplo, al traspasar el umbral en el que las grandes capas de hielo de Groenlandia y la Antártida se desintegren, o al activar el umbral de una epidemia como la malaria o el dengue). La disminución de la abundancia de especies podría ser descorazonadora, pero no una catástrofe en sí misma, hasta que dichas especies se reduzcan hasta un umbral por debajo del cual no sean capaces de sobrevivir. Y las consecuencias de un cambio, como un aumento de temperatura, podrían ser moderadas a menos que un ecosistema sufra ya presiones por otros motivos.

Otra posibilidad es que nos enfrentemos a un brote continuo de nuevas enfermedades infecciosas, de enfermedades que aparentemente no provienen de ningún sitio y exponen de repente al mundo entero a un riesgo monumental. Algunos ejemplos recientes de ello podrían ser el sida, el SARS, la gripe aviar y el virus nipah (transmitido a los seres humanos por los cerdos). Estas enfermedades emergentes tienen varias causas interrelacionadas, todas ellas vinculadas a la creciente presión de la actividad humana sobre los ecosistemas. Habitualmente, las enfermedades suponen la transmisión de agentes patógenos de un reservorio animal a un reservorio humano como consecuencia de contactos más intensos entre seres humanos y animales (por ejemplo, el desbroce de tierras o la caza furtiva

para alimentarse), la transformación de hábitats animales (incluida la cría intensiva de animales en comederos y otras instalaciones industriales, o las pautas migratorias de especies animales debidas al cambio climático) o a causa de especies invasivas y agentes patógenos transportados en avión, barco o como consecuencia de migraciones humanas. También pueden tener que ver con la mutación de variedades de agentes patógenos ya existentes y resistentes a los medicamentos. Una vez que estas enfermedades se contagian a la población humana, su transmisión suele verse favorecida por las altas densidades de población y los grandes desplazamientos de población humana, que ponen en contacto a poblaciones infectadas con poblaciones vulnerables. Los innegables riesgos de sufrir cambios bruscos y la repentina aparición de nuevas enfermedades mortales deben obligarnos a tomar nota y replantearnos nuestra irresponsable actitud hacia el cambio climático inducido por el ser humano a escala global. Todas las evidencias científicas nos indican a gritos que nuestra actuación en un planeta superpoblado no puede seguir rigiéndose por la creencia de que «de momento, va bien». Las verdaderas enseñanzas del cambio brusco son la prudencia, el respeto por los sistemas interconectados de la Tierra y un compromiso común para mirar al futuro.

#### LA PARADOJA DEL ENRIQUECIMIENTO

La ironía final es que el éxito vital de la humanidad a la hora de apropiarse de los servicios de la Tierra podría también revelar ser su perdición. Es enteramente posible que acabemos atragantándonos con algo. Exactamente igual que la Tierra privó a nuestros antepasados de la época posterior a las glaciaciones, que hicieron desaparecer la megafauna en América del Norte, de tracción animal y de la cría de animales durante los milenios posteriores, nuestra era podría perfectamente llevar los éxitos provisionales de la industrialización hasta el extremo del colapso ecológico global.

Semejante exceso no está llamado a ser el destino inevitable de la humanidad, pero también forma parte de nuestras potencialidades

y ha sido una historia repetida entre nosotros a escala global. Como ha relatado con contundencia Jared Diamond en su importante estudio *Colapso*, en una sociedad que gestione la transición hacia la sostenibilidad no hay nada automático. Veamos lo que dice Diamond: «Así pues, tanto las sociedades como los grupos humanos más pequeños pueden tomar decisiones catastróficas por toda una serie secuenciada de razones: la imposibilidad de prever un problema, la imposibilidad de percibirlo una vez que se ha producido, la incapacidad para disponerse a resolverlo una vez que se ha percibido y el fracaso en las tentativas de resolverlo».<sup>19</sup>

Debemos seguir recordando que los problemas globales complejos pueden resolverse mediante el establecimiento colectivo de objetivos globales, la confianza en las evidencias científicas, la movilización de tecnología y, lo más importante, la previsión. Tendremos que apreciar con urgencia que los desafíos ecológicos no se resolverán por sí solos ni de forma «espontánea». Hemos subrayado que el mercado no hará el trabajo por ellos. Las normas sociales no bastan. Los gobiernos suelen ser con frecuencia despiadadamente cortos de vista. La sostenibilidad debe ser una elección, una elección de una sociedad global que es previsor y actúa con una inusual armonía.