

LA JAMES LOVELOCK VENGANZA DE LA TIERRA

LA TEORÍA DE GAIA Y EL FUTURO DE LA HUMANIDAD



JAMES LOVELOCK

LA VENGANZA DE LA TIERRA

Por qué la Tierra está rebelándose
y cómo podemos todavía salvar a la humanidad

Traducción de Mar García Puig

Índice

Obra editada en colaboración con Editorial Planeta – España

Título original: *The Revenge of Gaia: Why the Earth is Fighting Back and How We Can Still Save Humanity*

Fotografía del autor: © James Lovelock

© 2006, James Lovelock
© 2007, Mar García Puig, por la traducción
© 2007, Editorial Planeta, S.A. – Barcelona, España

Editorial Planeta Mexicana, S.A. de C.V.
Avenida Presidente Masarik núm. 111, 2o. Piso
Colonia Chapultepec Morales
C.P. 11570 México, D.F.

Primera edición impresa en España: febrero de 2007
ISBN: 978-84-08-07028-3

Primera edición impresa en México: abril de 2007
ISBN-13: 978-970-37-0245-9
ISBN-10: 970-37-0245-7

ISBN: 978-0-713-99914-3 edición original

Ninguna parte de esta publicación, incluido el diseño de la portada, puede ser reproducida, almacenada o transmitida en manera alguna ni por ningún medio, sin permiso previo del editor.

Impreso en los talleres de Litográfica Ingramex, S.A. de C.V.
Centeno núm. 162, colonia Granjas Esmeralda, México, D.F.
Impreso en México *Printed in Mexico*

www.editorialplaneta.com.mx

<i>Lista de ilustraciones</i>	9
<i>Agradecimientos</i>	11
<i>Prólogo de sir Crispin Tickell</i>	13
1. EL ESTADO DE LA TIERRA	17
2. ¿QUÉ ES GAIA?	37
3. LA HISTORIA DE LA VIDA DE GAIA	69
4. PARTE METEOROLÓGICO PARA EL SIGLO XXI	81
5. FUENTES DE ENERGÍA	105
6. PRODUCTOS QUÍMICOS, COMIDA Y MATERIAS PRIMAS	159
7. TECNOLOGÍA PARA UNA RETIRADA SOSTENIBLE	187
8. UNA VISIÓN PERSONAL DEL ECOLOGISMO	197
9. DESPUÉS DEL FIN DE TRAYECTO	211
<i>Glosario</i>	229
<i>Lecturas recomendadas</i>	237
<i>Índice onomástico y de materias</i>	243

*Dedico este libro a Sandy,
mi amada esposa*

Lista de ilustraciones

Los créditos fotográficos se dan entre paréntesis

1. Los glaciares se derriten en Groenlandia (Roger Braithwaite/Still Pictures).
2. Desembocadura de un glaciar en Harding Icefields, Alaska (copyright © Ashley Cooper/Picimpact/Corbis).
3. Quema de rastrojos en Dumai, Indonesia (Beawiharta/Beawiharta/REUTERS).
4. Deforestación en el Amazonas, Brasil (Antonio Scorza/AFP/Files).
5. Campiña inglesa antes de la irrupción de la agroindustria (Corbis).
6. Agricultura intensiva (© Bill Stormont/Corbis).
7. Consumo de energía y urbanización vistas desde el espacio (NASA/Handout).
8. Algas en los océanos (imagen cedida por Orbimage y el proyecto WiFS de la NASA).
9. Escasez de vegetación en la Tierra (NASA/Corbis).
10. La superficie de Marte (AFP/NASA/JPL/Cornell).
11. Tierras devastadas por la minería (Jim Winkley, Ecoscere/Corbis).
12. Par Pond, instalaciones nucleares del río Savannah, Estados Unidos (David E. Scott).

Agradecimientos

He tenido la suerte de contar con amigos que leyeron este libro y me hicieron útiles y valiosos comentarios mientras lo escribía. Por ello, estoy sinceramente agradecido a Richard Betts, David Clemmow, Peter Cox, John Dyson, John Gray, Stephan Harding, Peter y Jane Horton, Tim Lenton, Peter Liss, Chris Rapley, John Ritch, Elaine Steel, sir Crispin Tickell, David Ward y Dave Wilkinson. Vaya también mi agradecimiento a GAIA, asociación benéfica registrada, número 327903, www.daisyworld.org, por su apoyo durante la escritura de este libro y a la que irán destinados todos los beneficios en concepto de derechos de autor.

Prólogo

¿Quién es Gaia? ¿Qué es? El «Qué» es la delgada capa esférica de tierra y agua que existe entre el interior incandescente de la Tierra y la atmósfera superior que la rodea. El «Quién» es el tejido interactivo de organismos vivos que la ha habitado durante más de cuatro mil millones de años. La combinación de ese «Qué» y ese «Quién» y el modo en que uno afecta continuamente al otro, es lo que se ha bautizado con el apropiado nombre de «Gaia». Como dice James Lovelock, Gaia es una metáfora de la Tierra viva. La diosa griega de la cual procede puede sentirse orgullosa del nuevo sentido que ha adquirido su nombre.

La noción de que, metafóricamente hablando, la Tierra está viva existía ya en la Antigüedad. Era habitual que dioses y diosas personificaran ciertos elementos de la naturaleza, desde el cielo hasta un manantial, y esa idea de la Tierra como un organismo vivo aparecía con regularidad en la filosofía griega. Mucho después, Leonardo da Vinci interpretó el cuerpo humano como un microcosmos de la Tierra y la Tierra como el macrocosmos del cuerpo humano. Él no sabía, cosa que nosotros sí sabemos ahora, que el cuerpo humano es a su vez un macrocosmos de los minúsculos elementos de la vida —bacterias, parásitos y virus— que a menudo están en guerra unos con otros y que en conjunto superan en número a las células de nuestro cuerpo. Giordano

Bruno ardió en la hoguera hace sólo cuatrocientos años por defender que la Tierra estaba viva y que quizá otros planetas también lo estuvieran. El geólogo James Hutton describió en 1785 la Tierra como un sistema que se autorregulaba. T. H. Huxley manifestó en 1877 un punto de vista similar. Por su parte, Vladimir Ivanovich Vernadsky afirmó que la biosfera funcionaba como una fuerza geológica creadora de un desequilibrio dinámico que a su vez impulsa la diversidad de la vida.

Pero fue James Lovelock quien, en 1972, unió todos los cabos en su hipótesis Gaia, que perfecciona y amplía en el presente libro. Echando la vista atrás, resulta extraño que, cuando hace un cuarto de siglo se hizo pública en su formulación actual, la idea fuera rechazada tajantemente por los partidarios de la ciencia convencional. Cuando se reflexiona de manera innovadora sobre algo conocido suele suscitarse una oposición emocional que va más allá de los argumentos racionales: sucedió con la idea de evolución por selección natural en el siglo XIX, con la tectónica de placas en el siglo XX y, más recientemente, con Gaia. Al principio, se apuntaron a la idea algunos alocados seguidores de la *New Age* mientras que otros tantos científicos razonables se apartaron de ella. Ahora vuelven a acercarse. Este cambio de actitud queda resumido en la declaración que en 2001 sirvió de colofón a la conferencia de científicos pertenecientes a los cuatro grandes programas internacionales de investigación global:

La Tierra funciona como un sistema único y autorregulado, formado por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos. Las interacciones y flujos de información entre las partes que lo componen son complejos y exhiben gran variabilidad en sus múltiples escalas temporales y espaciales.

Y eso es precisamente Gaia.

El mensaje primordial de este libro no es tanto que la propia Gaia esté amenazada (es «una tía muy dura», en palabras de

Lynn Margulis), sino más bien que los humanos le estamos infligiendo un daño cada vez mayor. De todos modos, Gaia cambia, y puede que sea menos fuerte hoy que en el pasado. El calor del sol aumenta continuamente y al final pondrá en peligro la autorregulación de la que depende la vida. Al contemplar el ecosistema global como un todo, el crecimiento de la población humana, la degradación de la Tierra, el agotamiento de los recursos, la acumulación de desechos, la polución de todo tipo, los cambios climáticos, los abusos de la tecnología y la destrucción de la biodiversidad en todas sus formas, constituyen una amenaza sin par para el bienestar de los humanos, una amenaza a la que generaciones anteriores no hubieron de enfrentarse. Como Lovelock ha escrito en alguna otra ocasión:

Hemos crecido en número hasta el punto de que nuestra presencia afecta al planeta como si fuéramos una enfermedad. Igual que en las enfermedades humanas, hay cuatro posibles resultados: destrucción de los organismos invasores que causan la enfermedad; infección crónica; destrucción del huésped; o simbiosis, es decir, el establecimiento de una relación perdurable mutuamente beneficiosa entre el huésped y el invasor.

La cuestión radica en cómo conseguir esa simbiosis. Hoy estamos muy lejos de lograrla. Lovelock examina con erudición los problemas más importantes, la mayoría consecuencia de la revolución industrial. Hace especial hincapié en el uso de combustibles fósiles y de productos químicos sintéticos, en las explotaciones agrícolas y en el porcentaje de la superficie del planeta que los humanos utilizamos. Continúa sugiriéndonos cómo podríamos —al fin— empezar a poner remedio. El sentido común dice que reconocer un problema es el primer paso para solucionarlo. El segundo es comprender el problema y sacar las conclusiones correctas. El tercero, hacer algo al respecto. Hoy estamos en algún punto entre el primer y el segundo paso.

Aplicado a los problemas de la sociedad actual, el concepto de Gaia puede extenderse al actual debate sobre valores: cómo contemplamos y juzgamos el mundo que nos rodea y, sobre todo, cómo nos comportamos. Esto se aplica especialmente al campo de la economía, donde las fantasías de moda sobre la supremacía de las fuerzas del mercado están profundamente incrustadas, y muchas veces se ignora que el gobierno tiene la responsabilidad de proteger el interés general. Pocas veces calculamos los costes correctamente y de ahí el caos al que han llevado las actuales políticas de energía y de transporte, y también nuestro fracaso a la hora de evaluar el impacto que tendrá en nuestras vidas el cambio climático.

La principal diferencia entre el pasado y el presente es que ahora los problemas son verdaderamente globales. Como señala Lovelock, estamos atrapados en un círculo vicioso de repercusión instantánea. Lo que pasa en un sitio afecta rápidamente a lo que pasa en otros lugares. Somos peligrosamente ignorantes de nuestra propia ignorancia y pocas veces conseguimos tener una perspectiva global de las cosas. Si de verdad queremos conseguir una sociedad que viva en armonía con la naturaleza, debemos respetarla más. No me sorprende que muchos hayan querido hacer de Gaia, o de la vida como tal, una religión. Este libro es una maravillosa introducción al conocimiento de cómo nuestra especie debería firmar la paz con el resto del mundo en que vivimos.

CRISPIN TICKELL

CAPÍTULO 1

El estado de la Tierra

¡Guías ciegos, que coláis el mosquito y
os tragáis el camello!

Biblia de Jerusalén, Mateo 23, 24

Como siempre, las malas noticias predominan en los medios de comunicación y, mientras yo escribo en la comodidad de mi hogar en Devon, la catástrofe de Nueva Orleans ocupa titulares de informativos y primeras páginas en los periódicos. Lo que ha pasado es horrible, pero nos ha distraído del sufrimiento mucho mayor que causó el *tsunami* que en diciembre de 2004 arrasó la costa del océano Índico. Ese aciago suceso mostró lúgubrememente el poder letal de la Tierra. Con sólo un suspiro, el planeta en el que vivimos puede matar a decenas de miles de personas. Pero eso **no** es nada comparado con lo que puede suceder muy pronto; estamos abusando tanto de la Tierra que ésta puede rebelarse y volver a la elevada temperatura que tuvo hace cincuenta y cinco millones de años. Si lo hace, la mayoría de nosotros moriremos, así como la mayoría de nuestros descendientes. Es como si hubiéramos decidido encarnar el mito que narra Wagner en *El anillo de los Nibelungos* y ver nuestro Valhalla caer pasto del fuego que nosotros mismos hemos encendido.

Casi puedo oír decir al lector: «¿Cómo? ¿Otro libro sobre el calentamiento global? ¿Acaso no hay ya bastantes?» Si este libro sólo fuera a repetir argumentos y réplicas ya conocidos, estaría de acuerdo en que sobra. Lo que lo hace distinto es que hablo como un médico planetario cuyo paciente, la Tierra viva, tiene fiebre.

Creo que el empeoramiento de la salud de la Tierra debe ser nuestra mayor preocupación, pues nuestras vidas dependen de que el planeta que habitamos se mantenga sano. Su salud debe importarnos más que ninguna otra cosa, porque garantizar el bienestar del cada vez mayor número de habitantes requiere que el lugar donde vivimos esté fuerte.

Cuando llego a este punto, mis amigos y colegas científicos suelen torcer el gesto, dando a entender que preferirían que no hablara de nuestro planeta como de una forma de vida.^{†*} Comprendo su preocupación, pero no me retracto. Si no hubiera sido el primero en pensar en la Tierra de esa forma, seguiríamos siendo «científicamente correctos», pero ignoraríamos por completo su verdadera naturaleza. Gracias al concepto de Gaia hoy vemos que nuestro planeta es totalmente distinto a sus hermanos muertos, Marte y Venus. Como si fuera uno de nosotros, controla su temperatura y composición en función de su bienestar, y lo lleva haciendo desde que comenzó la vida, hace más de tres mil millones de años. Dicho sin rodeos, los planetas muertos son como estatuas de piedra, que, metidas en un horno y calentadas a 80 °C, no sufren ningún cambio. Si a usted o a mí nos metieran en ese horno, moriríamos. A la Tierra le sucede igual.

Sólo si pensamos en nuestro hogar planetario como si estuviera vivo podremos ver, quizá por vez primera, por qué los cultivos erosionan el tejido vivo de su piel y por qué la contaminación es tan venenosa para la Tierra como para nosotros. Los crecientes niveles de dióxido de carbono y metano en la atmósfera tienen para nuestro planeta consecuencias muy distintas de las que tendrían para un planeta muerto como, por ejemplo, Marte. La respuesta de la Tierra viva a lo que hacemos no depende solamente de la cantidad de suelo que explotemos y de la contaminación que generemos, sino también de su estado actual

* El símbolo † indica que se ofrece una definición del término en el glosario que se incluye al final de la obra. (N. del a.)

de salud. Cuando la Tierra era joven y fuerte resistió cambios adversos y superó los fallos de su sistema de regulación de temperatura. Quizá ahora nuestro planeta sea más viejo y menos resistente.

El desarrollo sostenible, basado en el uso de energías renovables,[†] se ha puesto de moda como forma de convivencia con la Tierra y se ha convertido en parte del programa de los políticos verdes. Muchas personas se oponen a este punto de vista, particularmente en Estados Unidos, y siguen creyendo que el calentamiento global es un cuento y dicen que hay que seguir como si nada. Su forma de pensar está bien reflejada en la reciente novela de Michael Crichton *Estado de miedo* y en las palabras que pronunció esa mujer santa, la Madre Teresa de Calcuta, en 1988: «¿Por qué deberíamos preocuparnos por la Tierra cuando nuestro principal deber es cuidar a nuestros semejantes pobres y enfermos? Dios se ocupará de la Tierra.» De hecho, ni la fe en Dios ni seguir como si nada, ni siquiera tampoco apostar por un desarrollo sostenible son respuestas adecuadas a la grave situación en la que nos encontramos. Si no cuidamos de la Tierra, ella cuidará de sí misma haciendo que ya no seamos bienvenidos. Los que tengan fe deben volver a contemplar nuestro hogar planetario como un lugar sagrado, parte de la creación divina que nosotros hemos profanado. *Gaia's Gift*, de Anne Primavesi, muestra la vía hacia la consiliencia[†] entre la fe y Gaia.

Cada vez que oigo la expresión «desarrollo sostenible» recuerdo la definición dada por Gisbert Glaser, el principal asesor del Consejo Internacional para la Ciencia, en un artículo de opinión del boletín del Programa Internacional Geosfera Biosfera (IGBP): «El desarrollo sostenible es un objetivo no estático. Representa un esfuerzo continuo por equilibrar e integrar tres pilares —el bienestar social, la prosperidad económica y la protección del medio ambiente— en beneficio de las generaciones presentes y futuras.» Muchos consideran esta noble política moralmente superior al *laissez faire* de seguir como si nada. Desgra-

ciadamente, estas dos aproximaciones radicalmente distintas —la una expresión de la decencia internacional y la otra de las despiadadas fuerzas del mercado— conducen al mismo resultado: la probabilidad de un cambio climático global desastroso. El error que ambas comparten es creer que el desarrollo todavía es posible y que la Tierra continuará más o menos igual que ahora durante al menos la primera mitad de este siglo. Hace doscientos años, cuando el cambio era lento o inexistente, puede que hubiésemos estado a tiempo de establecer unas pautas de desarrollo sostenible, o incluso haber continuado durante un tiempo como si nada, pero ahora es demasiado tarde: el daño ya está hecho. Confiar en el desarrollo sostenible o continuar como si nada son políticas tan viables como esperar que un enfermo de cáncer de pulmón se cure simplemente dejando de fumar; ambas vías niegan la enfermedad que sufre la Tierra, la fiebre que le ha producido la plaga de gente que la aqueja. A pesar de ser muy diferentes, las dos proceden de creencias religiosas y humanistas que consideran a la Tierra como algo que está ahí para ser explotado en beneficio de la humanidad. En 1800, cuando sólo había mil millones de habitantes, estas políticas ignorantes eran aceptables, porque causaban pocos daños. Ahora se trata simplemente de dos caminos distintos que conducen tortuosamente a un mismo destino: una regresión a una especie de Edad de Piedra en un planeta enfermo, en la que sólo sobrevivirán unos pocos, afeerrados a los restos del naufragio de la que una vez fue nuestra biodiversa Tierra.

¿Por qué somos tan reacios, especialmente en Estados Unidos, a ver el enorme peligro al que se enfrenta nuestra civilización? ¿Qué nos impide darnos cuenta de que la fiebre del calentamiento global es real y gravísima y que puede que ya esté más allá de nuestra capacidad de control e incluso de la de la Tierra? Creo que rechazamos las pruebas de que nuestro mundo está

cambiando porque todavía somos, como nos recordó el sabio biólogo E. O. Wilson, carnívoros tribales. Estamos programados por nuestra herencia para considerar las demás cosas vivas básicamente como comida, y para que nuestra tribu nacional sea para nosotros más importante que cualquier otra cosa. Llegamos incluso a dar nuestra vida por ella y estamos dispuestos a matar de forma extremadamente cruel a otros seres humanos por el bien de nuestra tribu. Todavía nos resulta ajeno el concepto de que nosotros y el resto de la vida, desde las bacterias a las ballenas, formamos parte de una entidad mucho mayor y más diversa: la Tierra viva.

Se supone que la ciencia debe ser objetiva, así que ¿por qué no nos ha avisado antes del peligro? El calentamiento global fue discutido superficialmente por varios autores a mediados del siglo xx, pero incluso el gran climatólogo Hubert Lamb, en su libro de 1972 *Climate: Present, Past and Future*, una obra que tenía más de seiscientas páginas, dedicó sólo una de ellas al efecto invernadero.[†] El tema no llegó al gran público hasta 1988. Hasta entonces, la mayoría de los científicos dedicados a la atmósfera estaban tan absortos en la intrigante ciencia del agujero en el ozono de la estratosfera que le dedicaban poco tiempo a otros problemas medioambientales. Entre los valientes pioneros del calentamiento global están los científicos norteamericanos Stephen Schneider y Jim Hansen.

Conocí a Schneider a finales de la década de 1970, durante una visita al Centro Nacional de Investigación Atmosférica —un fascinante laboratorio científico colgado de la ladera de una montaña en Boulder, en el estado de Colorado— y desde entonces nuestras vidas se han cruzado en gran cantidad de ocasiones. En su libro *The Coevolution of Climate and Life*, escrito conjuntamente con Randi Londer y publicado en 1984, Schneider advierte de las consecuencias de la utilización de combustibles fósiles y aboga por la necesidad de establecer un control estratégico de las emisiones a la atmósfera, algo en las antípo-

das del seguir como si nada por el que abogan las fuerzas del mercado.

Jim Hansen, del Instituto de Estudios Espaciales Goddard de la NASA, no fue menos tajante en sus admoniciones, y el 23 de junio de 1988 le dijo al Senado de Estados Unidos que la Tierra estaba ahora más caliente que en ningún otro momento desde que existen registros. La mejor y más completa historia de este período se encuentra en el libro de John Gribbin *El efecto invernadero y Gaia*, publicado en 1990, en *Global Warming*, publicado en 1989 y escrito por Schneider y en *Turning up the Heat*, de Fred Pearce, publicado en 1989.

Las ideas de Schneider y Hansen encontraron eco en políticos tan distintos como Al Gore y Margaret Thatcher y sospecho que el mérito de que se plasmasen en medidas prácticas es del diplomático y climatólogo sir Crispin Tickell. Éste, tras considerables esfuerzos, logró que en 1989 se formara el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), nacido bajo el patrocinio de la Organización Mundial de la Meteorología (WMO) y del Programa Medioambiental de Naciones Unidas (UNEP). El nuevo organismo empezó inmediatamente el largo proceso de recopilación de datos y elaboración de modelos que es la base de las previsiones del clima futuro. Sin embargo, la sensación de que el cambio climático era un problema apremiante se desvaneció en la década de 1990, y el coraje pionero de los primeros en dar la alarma recibió escaso apoyo del lumpen que es la burocracia de cargos administrativos medios del mundo de la ciencia. Aunque la culpa no fue totalmente de éstos, pues la propia ciencia se ha perjudicado a sí misma durante los dos últimos siglos con su división en muchas disciplinas distintas, cada una limitada a estudiar una pequeña faceta del planeta, sin que exista una visión coherente y global de la Tierra. Los científicos no reconocieron que la Tierra era una entidad que se autorregulaba hasta la declaración de Amsterdam de 2001, y muchos de ellos siguen comportándose como si nuestro planeta fuera una

enorme propiedad comunal que todos poseemos y compartimos. Se aferran a la visión de la Tierra que se enseñaba en las escuelas y universidades durante los siglos XIX y XX, un planeta compuesto de roca inerte con abundante vida a bordo, pasajeros de su viaje a través del espacio y el tiempo.

La comunidad científica es un acogedor y agradable club de especialistas que siguen caminos diversos; es un club orgulloso y maravillosamente productivo, pero con pocas certezas, y lastrado por sus incompletas visiones del mundo. En Gran Bretaña tenemos la suerte de que nuestra ciencia haya sido liderada por figuras de la talla de lord May y sir David King, que han batallado incansablemente para advertirnos y advertir al gobierno de los gravísimos peligros que se avecinan. La idea de Gaia, con su implicación de que la Tierra es un sistema que evoluciona y que de alguna forma está vivo, no apareció hasta más o menos 1970. Como sucede con todas las teorías nuevas, tardó décadas en ser parcialmente aceptada, pues había que obtener datos que la validasen o refutasen. Hoy sabemos que la Tierra, en efecto, se autorregula, pero debido al tiempo que llevó recopilar los datos necesarios para demostrarlo, hemos descubierto demasiado tarde que esa regulación está fallando y que el sistema de la Tierra avanza rápidamente hacia un estado crítico que pondrá en peligro la vida que alberga.

La ciencia intenta ser global más que una serie inconexa de disciplinas distintas, pero incluso los que adoptan el punto de vista de la ciencia de sistemas serían los primeros en admitir que nuestra comprensión del sistema de la Tierra no es mucho mejor que la que en el siglo XIX tenía un médico de su paciente. Aun así, sabemos lo bastante de la fisiología del planeta como para comprender que su enfermedad es grave. Sospechamos que existe un umbral —quizá de temperatura, o un nivel dado de dióxido de carbono en el aire— más allá del cual nada de lo que hagan las naciones del mundo servirá para nada ni podrá evitar que la Tierra llegue irreversiblemente a un nuevo estado de calenta-

miento. Nos acercamos a uno de esos puntos de inflexión, y nuestro destino es parecido al de los pasajeros de un pequeño yate que navegan tranquilamente junto a las cataratas del Niágara sin saber que los motores están a punto de fallar.

Las pocas cosas que sabemos sobre la respuesta de la Tierra a nuestra presencia son profundamente perturbadoras. Aunque dejáramos de inmediato de tomar tierras y agua de Gaia para producir comida y combustible y no contamináramos más el aire, la Tierra tardaría más de mil años en recuperarse del daño que ya le hemos causado, y puede que ni ese drástico paso bastara para salvarnos. Para corregir o suavizar las graves consecuencias de nuestros errores pasados hará falta un extraordinario esfuerzo internacional y un proceso cuidadosamente planeado para reemplazar los combustibles fósiles por otras fuentes de energía más seguras. Como civilización, somos como un toxicómano, que morirá si sigue consumiendo su droga, pero también morirá si la deja de golpe. Nuestra inteligencia y creatividad nos han metido en este atolladero. Todo comenzó hace cien mil años, cuando prendimos fuego a los bosques porque nos resultaba más cómodo para cazar. En ese momento dejamos de ser un animal más e iniciamos la demolición de la Tierra. Nuestra especie es el equivalente a aquella famosa pareja esquizoide, el doctor Jekyll y Mr. Hyde: somos capaces de llevar a cabo las más horribles tareas de destrucción, pero también tenemos el potencial de fundar una civilización magnífica. Hyde nos llevó a usar mal la tecnología. Malgastamos la energía y superpoblamos la Tierra. Pero la civilización se derrumbará si abandonamos la tecnología. Debemos pues usarla sabiamente, como haría el doctor Jekyll, pensando en el bienestar de la Tierra y no sólo en el bienestar de la gente. Por eso es demasiado tarde para seguir la vía del desarrollo sostenible; lo que hace falta es una *retirada* sostenible.

Estamos tan obsesionados con la idea de progreso y con el bienestar de la humanidad que la retirada nos parece algo desagradable y vergonzoso. El filósofo e historiador de las ideas John Gray observó en su libro *Perros de paja* que rara vez vemos más allá de las necesidades de la humanidad, y relacionó esta ceguera con la infraestructura humanista y cristiana sobre la que se asienta nuestra civilización. Cuando surgió, hace dos mil años, no era perjudicial, y nosotros no suponíamos una amenaza para Gaia. Ahora que somos más de seis mil millones de personas hambrientas y glotonas, todas aspirando al nivel de vida del primer mundo, nuestro modo de vida urbano invade el terreno de la Tierra viva. La expoliamos de tal forma, que la estamos dejando sin medios para sostener el confortable mundo al que estamos acostumbrados. Ahora la Tierra está cambiando, siguiendo sus propias reglas internas, hacia un estado en el que ya no seremos bienvenidos.

La humanidad se enfrenta a su reto más difícil. Un desafío para el que la tradición humanista no la ha preparado. La aceleración del cambio climático acabará con el confortable entorno al que estamos adaptados. El cambio es una parte normal de la historia geológica. El más reciente fue la transición de la Tierra de un largo período de glaciación a su actual estado templado interglacial. Lo inusual de la crisis venidera es que nosotros somos su causa; nada tan drástico había pasado desde el largo período cálido de principios del Eoceno, hace cincuenta y cinco millones de años, el cambio más profundo que ha habido entre la época glacial y el siglo XIX y que duró doscientos mil años.

El gran sistema de la Tierra, Gaia, cuando, como en la actualidad, se halla en un período interglacial, se encuentra atrapado en un círculo vicioso de respuesta positiva,[†] lo que hace que el calentamiento global sea tan grave y apremiante. El calor extra, venga de la fuente que venga, tanto si procede de los gases propiciadores del efecto invernadero, de la desaparición del hielo ártico y los cambios en el océano o de la destrucción de las selvas

tropicales, se amplifica y sus consecuencias se multiplican. Es como si hubiéramos encendido un fuego para mantenernos calientes y le siguiéramos echando leña sin darnos cuenta de que se ha extendido a los muebles y está fuera de control. Cuando eso sucede, hay muy pocas posibilidades de apagarlo antes de que consuma la casa entera. El calentamiento global, igual que un fuego, está acelerándose y casi no nos queda tiempo para reaccionar.

La filósofa Mary Midgley, en sus espléndidos libros *Science and Poetry* y *The Essential Mary Midgley*, nos advierte de que el dominio del pensamiento atomizado y reduccionista en la ciencia durante los últimos dos siglos ha provocado una visión cerrada y provinciana de la Tierra. Se suele decir que la importancia de un científico se mide por el tiempo en que el progreso se sustenta en sus ideas. La visión del universo de Newton duró casi doscientos años, hasta que dio paso a la de Einstein, más completa. Según este criterio, Descartes ha sido un pensador eminente. Su separación entre cuerpo y mente, necesaria en aquellos tiempos, y la relegación de todos los seres vivos a una interpretación mecanicista impulsaron el pensamiento reduccionista. La reducción es la disección analítica de algo hasta sus componentes más pequeños, seguida de su re-generación a través del reensamblaje de cada una de las partes. Ese sistema, no cabe duda, ha conducido a grandes logros en el campo de la física y de la biología en los últimos dos siglos, pero ahora está siendo colocado en el lugar que le corresponde: una parte de la ciencia pero no su totalidad. Al fin, aunque quizá demasiado tarde, empezamos a comprender que la idea holística de ver las cosas con perspectiva, es decir, ver una cosa desde fuera y estudiarla en funcionamiento, es tan importante como desmontar la cosa hasta reducirla a sus piezas más pequeñas y reconstruirla luego desde cero. Eso es especialmente cierto respecto de las cosas vivas, los grandes sistemas y los ordenadores.

Lo que necesitamos por encima de todo es recuperar el amor

y la empatía por la naturaleza que perdimos cuando nos enamoramos de la vida urbana. Es probable que no fuera Sócrates el primero en decir que fuera de los muros de la ciudad no pasa nada importante, pero seguramente él estaba familiarizado con la naturaleza que había tras ellos. Incluso en tiempos de Shakespeare las ciudades eran lo bastante pequeñas como para que se pudiera caminar hasta «una orilla en la que se mece el tomillo silvestre, crece la prímula y cabecea la violeta». Los primeros ecologistas, que conocían y apreciaban de verdad la naturaleza —genete como Wordsworth, Ruskin, Rousseau, Humboldt, Thoreau y tantos otros—, vivieron durante buena parte de sus vidas en pequeñas y compactas ciudades. Ahora la urbe suele ser tan grande que muy pocos tienen contacto con el lejano campo. Me pregunto cuántos de ustedes saben qué aspecto tiene una prímula y si alguna vez han visto alguna.

Blake vio una amenaza en los satánicos y oscuros molinos, pero dudo que ni siquiera en su pesadilla más negra hubiera entrevisto la realidad actual: la industrialización total del campo tan conocido para él. Blake era londinense, pero desde el Londres en que vivía se podía llegar al auténtico campo simplemente dando un paseo. En las verdes y bellas tierras inglesas ya no se siega el heno, sino que la agroindustria las cultiva con medios mecánicos; y, si no hacemos nada, lo poco que queda de campo se convertirá en un páramo plagado de enormes molinos de viento en un vano intento de conseguir abastecer la demanda de energía de la vida urbana. Muchas veces, lo que se nos presenta como una reforma para mejorar las cosas no es más que vandalismo organizado en nombre de una ideología. Eso es lo que sucedió durante el gobierno de Cromwell, y lo que se oculta en la actualidad tras la política verde europea.

Por supuesto, hay escépticos. Entre ellos se cuentan el estadístico danés Björn Lomborg y el científico norteamericano Richard Lindzen, que ponen en duda que el problema del cambio climático global sea grave y necesite una solución. Su opi-

nión, no obstante, no ha hecho mella en el consenso en sentido opuesto de los científicos de todo el mundo que forman el IPCC.

Hace poco escuché un apasionado y conmovedor discurso del científico norteamericano Patrick Michaels. Rechazaba indignado la afirmación de sir David King, el asesor científico jefe del Reino Unido, en el sentido de que el cambio climático era más grave que la guerra que se estaba librando contra el terrorismo. Para él, igual que para muchos otros, lo sucedido en Nueva York el 11 de septiembre de 2001, en Madrid en 2004 y en Londres en 2005 es mucho más importante que cualquier previsión de mal tiempo durante el siglo que viene. A diferencia de la mayoría de los norteamericanos, yo he pasado la mayor parte de mi vida bajo la amenaza del terrorismo; principalmente, pero no sólo, el del nacionalismo celta. Comparto la indignación de Michaels y creo que el terrorismo está sólo a un paso del genocidio. Tanto el terrorismo como el genocidio proceden de nuestra naturaleza tribal. Y es una conducta que probablemente llevemos inscrita en nuestro código genético, pues no se me ocurre otra razón para que, como masa, hagamos cosas que sólo los peores psicópatas harían en solitario. El genocidio y el terrorismo no son sólo males propios de nuestros enemigos: todos somos capaces de ellos si se pulsa la tecla adecuada. La civilización sólo ha hecho un poco más asépticas esas horribles tendencias, y las ha rebautizado como «guerra». El tribalismo no es completamente malo y puede hacer que todos nosotros, humanos egoístas, realicemos actos que requieren gran valor e incluso que demos nuestras vidas, en general cuando creemos que existe un peligro para la tribu, pero también en ocasiones por el bien de la humanidad. A veces hacemos cosas increíblemente altruistas. En tiempos de guerra aceptamos que nos racionen la comida y los bienes de consumo, estamos dispuestos a trabajar más horas, a afrontar grandes peligros e incluso a morir.

Soy lo bastante viejo como para ver lo parecidas que son la actitud que había hace más de sesenta años respecto a la amenaza de la guerra y la que existe hoy respecto al calentamiento global. La mayoría de nosotros cree que puede que algo desagradable suceda pronto, pero estamos tan confusos como en 1938 sobre la forma que tomará y sobre qué hacer al respecto. Hasta ahora, nuestra reacción ha sido idéntica a la que se dio antes de la segunda guerra mundial: apaciguamiento. El tratado de Kyoto se parece mucho al de Munich, con políticos saliendo a la palestra para demostrar que están haciendo algo para solucionar el problema cuando en realidad se limitan a ganar tiempo. Puesto que somos animales tribales, la tribu no actúa al unísono hasta que no percibe un peligro inminente y real. Y todavía no lo ha percibido. En consecuencia, como individuos, seguimos nuestros caminos mientras las ineludibles fuerzas de Gaia se movilizan contra nosotros. Pronto tendrá lugar la batalla, y lo que vendrá será mucho más letal que una *Blitzkrieg*. Al cambiar el medio ambiente, hemos declarado sin darnos cuenta la guerra a Gaia. Hemos ocupado el medio de otras especies, el equivalente, en el campo internacional, a haber invadido el territorio de otro país.

El futuro pinta mal. Incluso si tomamos medidas inmediatas, nos espera, como en cualquier guerra, una época muy difícil que nos llevará al límite de nuestras fuerzas. Somos resistentes, y hará falta mucho más que la anunciada catástrofe climática para eliminar a todas las parejas humanas en edad de reproducción, pero lo que está en juego no es la supervivencia de la especie humana sino la supervivencia de la civilización. Como animales individuales no somos tan especiales. De hecho, según algunos puntos de vista, la especie humana es casi una enfermedad planetaria. Sin embargo, la civilización nos redime y nos convierte en un bien valioso para la Tierra. Existe una mínima posibilidad de que los escépticos del cambio climático tengan razón, o puede que nos salve algún suceso inesperado, como una serie de

erupciones volcánicas lo bastante potentes como para bloquear la luz del sol y enfriar la Tierra. Pero sólo los necios apostarían su vida a algo tan improbable. Por incierto que sea el clima futuro, es un hecho que la temperatura y los niveles de los gases invernadero están subiendo.

Me parece triste e irónico que el Reino Unido, que cuenta con los mejores especialistas del mundo sobre la Tierra y el clima, haya hecho oídos sordos a sus consejos y advertencias. Hasta ahora, hemos preferido escuchar las opiniones, bienintencionadas pero poco fundamentadas, de aquellos que creen que existe una alternativa a la ciencia. Yo soy un verde, y me cuento entre sus filas, pero ante todo soy un científico; por eso es por lo que ruego a mis amigos ecologistas que reconsideren su ingenua fe en el desarrollo sostenible y las energías renovables y que abandonen la creencia de que con ellas y con políticas de ahorro de energía basta para solucionar el problema al que nos enfrentamos. Más importante todavía es que abandonen su obstinado rechazo de la energía nuclear. Incluso si tuvieran razón sobre sus peligros —y no la tienen—, usarla como fuente de energía segura y fiable representaría una amenaza insignificante comparada con las intolerables y letales olas de calor y la subida del nivel del mar que amenaza a todas las ciudades costeras del mundo. El concepto de energías renovables suena bien, pero hasta ahora son poco eficaces y muy caras. Tienen futuro, pero no tenemos tiempo para experimentar con ellas: la civilización se enfrenta a un peligro inminente y tiene que recurrir a la energía nuclear o resignarse a sufrir el castigo que pronto le infligirá un planeta indignado. La política de ahorro de energía de los verdes es correcta, aunque sospecho que, igual que perder peso, es algo que resulta más fácil de decir que de hacer. Todo ahorro significativo de energía se debe a nuevos diseños, que por lo general tardan décadas en llegar a la mayoría de usuarios.

No estoy diciendo que la energía de fisión nuclear sea lo ideal a largo plazo para nuestro planeta enfermo, o que vaya a so-

lucionar todos nuestros problemas, pero hoy por hoy es la única medicina eficaz de que disponemos. Cuando un adulto desarrolla una diabetes tipo 2 por comer en exceso y no hacer bastante ejercicio, sabe que no basta con tomar medicamentos; debe cambiar de estilo de vida. La energía nuclear es simplemente el medicamento que nos proporcionará una fuente segura y constante de electricidad para que las luces de la civilización sigan encendidas hasta que la energía de fusión, limpia y eterna —la energía alimentada por el sol—, y las energías renovables estén disponibles. Y recurrir a la energía nuclear no es lo único que tendremos que hacer si queremos evitar que en este mismo siglo se produzca una nueva Edad Oscura.

Debemos vencer el miedo y aceptar la energía nuclear como una fuente de energía segura y probada que causa perjuicios mínimos a escala global. Hoy es tan fiable como pueda serlo cualquier otro sistema en el que intervenga la ingeniería humana, y tiene las mejores estadísticas de seguridad de todas las fuentes de energía a gran escala. Francia ha demostrado que puede convertirse en la principal fuente de energía de una nación, pero a pesar de ello los gobiernos siguen temiendo aferrarse al único salvavidas hoy disponible. Necesitamos una cartera diversificada de fuentes de energía, entre las cuales la nuclear será predominante, al menos hasta que la fusión se convierta en una opción viable. Si las industrias bioquímicas pueden sintetizar comida a partir del dióxido de carbono, el agua y el nitrógeno, que lo hagan, y démosle a la Tierra un respiro. Hay que dejar de preocuparse por los estadísticamente ínfimos riesgos de cáncer derivados de agentes químicos o de la radiación. Casi un tercio de nosotros morirá de cáncer, fundamentalmente porque todos respiramos aire, que está lleno del carcinógeno más peligroso: el oxígeno. Si no nos concentramos en el peligro real, que es el calentamiento global, puede que muramos mucho antes, como les sucedió a los treinta mil infortunados que fallecieron en Europa durante la ola de calor del verano de 2003. Hemos de considerar el cambio cli-

mático global como algo grave e inmediato y a continuación hacer lo que podamos para reducir el impacto de los humanos sobre la Tierra. Nuestro objetivo debe ser detener el consumo de combustibles fósiles tan pronto como sea posible y cesar en la destrucción de hábitats naturales en todo el mundo. Cuando utilizo el término «natural» no estoy hablando sólo de selvas vírgenes, sino que incluyo también los bosques que han crecido en tierras de cultivo abandonadas, como ha sucedido en Nueva Inglaterra y en otros lugares de Estados Unidos. Estos nuevos bosques probablemente prestan tanto servicio a Gaia como los originales; en cambio, las vastas extensiones de monocultivos, de ningún modo pueden sustituir los ecosistemas naturales. Ya estamos cultivando más de lo que la Tierra puede permitirse, y si tratamos de cultivar el planeta entero para alimentarnos, aunque sea con granjas orgánicas, seríamos como los marineros que quedan los maderos y jarcias de su barco para no pasar frío. Los ecosistemas naturales[†] de la Tierra no existen para que nosotros los convirtamos en tierras de cultivo, sino para mantener el clima y la química del planeta.

Para reparar el daño que hemos causado, hace falta un programa cuya escala hará palidecer el programa espacial y dejará pequeño el presupuesto de defensa, tanto en costes como en ambición. Vivimos en una época en que las emociones y los sentimientos cuentan más que la verdad, y existe una enorme ignorancia científica. Hemos permitido que novelistas y grupos de presión ecologistas exploten nuestro miedo a la energía nuclear —que es el mismo que se tiene a cualquier ciencia nueva— del mismo modo que, no hace tanto, las Iglesias explotaban el miedo al fuego del Infierno. Somos como pasajeros de un gran avión que cruza el Atlántico y que de repente se dan cuenta del mucho dióxido de carbono que ese avión está expulsando a un aire ya demasiado contaminado. Desde luego, la solución no pasa por pedirle al capitán que apague los motores y trate de hacer que el avión planee empujado sólo por la fuerza del vien-

to. Del mismo modo, no podemos simplemente apagar nuestra civilización basada en los combustibles fósiles y en el alto consumo de energía sin estrellarnos: necesitamos el aterrizaje suave que nos proporcionará un descenso con los motores en marcha.

Un cambio climático irreversible puede estar tan próximo que no es prudente confiar en que los acuerdos internacionales salven a nuestra civilización del calentamiento global. La reunión del G8 en Escocia en 2005 incluía el cambio climático en su agenda, pero ese punto quedó en un segundo plano debido al grave atentado terrorista que se produjo en Londres en esas mismas fechas. No podemos permitirnos esperar a Godot. Sin perder de vista que el peligro es global, las naciones deben empezar a reflexionar a nivel individual sobre cómo salvarse y salvar el mundo. Nosotros, en el Reino Unido, estamos igual que en 1939, y puede que pronto estemos también, hasta cierto punto, solos; no podemos dar por supuesto que en un mundo futuro devastado por el cambio climático podamos contar con fuentes seguras de comida o energía. Debemos tomar decisiones basadas en nuestro interés nacional. No se trata de ser nacionalista ni egoísta: es simplemente la manera más rápida de asegurar que cada vez más naciones, llevadas por su propio interés, actúen localmente contra el cambio climático. A las potencias emergentes, India y China, les será difícil contener el uso de combustibles fósiles, igual que a Estados Unidos. No debemos esperar pues un acuerdo o directriz internacional.

En nuestro pequeño país tenemos que actuar de inmediato como si estuviéramos a punto de ser atacados por un poderoso enemigo. Primero hay que asegurarse de que nuestras defensas contra el cambio climático estén preparadas cuando empiece el ataque. Los lugares más vulnerables son las ciudades situadas al nivel del mar, entre ellas Londres y Liverpool. Ante todo,

hay que protegerlas contra las primeras fases de la guerra climática y luego estar preparados para una retirada ordenada conforme progresen las inundaciones. Una vez que la Tierra empiece a avanzar rápidamente hacia su nuevo estado más caliente, el clima desbaratará el mundo político y empresarial. Las importaciones de comida, combustible y materias primas serán cada vez más difíciles conforme los proveedores de otras regiones se vean desbordados por sequías e inundaciones, de modo que necesitamos planear cómo sintetizar nuestra comida utilizando poco más que aire, agua y unos pocos minerales, y para hacerlo será imprescindible una fuente segura y abundante de energía. Las extremadamente productivas granjas del este de Inglaterra se encontrarán entre las primeras zonas en quedar inundadas. Las únicas fuentes de energía que nos quedarán entonces serán el carbón, el poco gas y petróleo que quedan en el mar del Norte, la energía nuclear y el mínimo porcentaje que aportan las energías renovables. La extravagante e intrusiva construcción de plantas eólicas debe cesar de inmediato, y esos fondos deben dedicarse a fuentes de energía renovables viables, como la central mareomotriz del estuario de Severn, que cubriría entre un cinco y un diez por ciento de las necesidades de energía del país una vez dejáramos de despilfarrarla. Necesitamos, por encima de todo, ese cambio en emociones e ideas que se produce en las naciones tribales cuando se sienten ante un peligro real. Sólo entonces aceptaremos el racionamiento de combustible y demás privaciones que son necesarias para una defensa eficaz. Nuestra causa será la defensa de la civilización para preservarla del caos que, de otro modo, podría apoderarse de la humanidad.

Los astronautas que han tenido ocasión de contemplar la Tierra desde el espacio han comprobado que es un planeta asombrosamente bello. A menudo hablan de la Tierra como de su ho-

gar. Pido que dejemos de lado el miedo y nuestra obsesión por los derechos personales y tribales y seamos lo bastante valientes como para ver que la verdadera amenaza procede del daño que le hagamos a la Tierra viva, de la que formamos parte y que es, en efecto, nuestro hogar.

¿Qué es Gaia?

Casi nadie, incluido yo mismo durante los primeros diez años después de que naciera esa idea, parecía saber qué era Gaia. La mayoría de los científicos, cuando piensan y hablan de la parte viva de la Tierra, la llaman biosfera,[†] aunque, estrictamente hablando, la biosfera no es más que la zona en la que existe la vida, la delgada burbuja esférica que envuelve la superficie de la Tierra. De modo inconsciente, se ha expandido la noción de biosfera hasta convertirla en algo más que una zona geográfica, pero sigue existiendo ambigüedad respecto a sus límites y sus funciones.

De dentro afuera desde el núcleo, la Tierra está formada casi exclusivamente de roca y metal caliente o líquido. Gaia es un delgado caparazón esférico de materia que rodea el interior incandescente; empieza allí donde las rocas de la corteza se encuentran con el magma del interior de la Tierra, a unos ciento sesenta kilómetros bajo la superficie, y se extiende otros ciento sesenta kilómetros hacia arriba, a través del océano y el aire, hasta la todavía más caliente termosfera, que linda con el espacio exterior. Incluye la biosfera y es un sistema fisiológico dinámico que ha mantenido nuestro planeta apto para la vida durante más de tres mil millones de años. Digo que Gaia es un sistema fisiológico porque parece tener el objetivo inconsciente de regular el clima y la química de forma que resulten adecuados para la vida.

Sus objetivos no son fijos sino que se ajustan al medio ambiente de cada momento y se adaptan a las formas de vida que alberga en cada época.

Debemos pensar en Gaia como un sistema integral formado por partes animadas e inanimadas. El exuberante crecimiento de los seres vivos, posible gracias al sol, hace a Gaia muy poderosa, pero este caótico y salvaje poder está constreñido por las propias limitaciones de esa entidad que se regula a sí misma en beneficio de la Tierra. Creo que reconocer esos límites al crecimiento es esencial para un conocimiento intuitivo de Gaia. Parte fundamental de ese conocimiento es saber que esas limitaciones no afectan sólo a los organismos de la biosfera, sino también al entorno físico y químico. Es obvio que puede hacer demasiado calor o demasiado frío para la mayor parte de las formas de vida, pero lo que no resulta tan obvio es que el océano se convierte en un desierto cuando la temperatura de su superficie asciende a unos 12 °C. Cuando esto sucede, se forma una capa estable de agua caliente que no se mezcla con las aguas más frías y ricas en nutrientes que quedan por debajo. Esta propiedad puramente física del agua del océano, impide la existencia de nutrientes en la capa templada, así que pronto la zona superior del océano calentada por el sol se convierte en un desierto. Ésa puede ser una de las razones de que el objetivo de Gaia sea mantener la Tierra fría.

Se habrá dado cuenta de que utilizo la metáfora de «la Tierra viva» al hablar de Gaia, pero no quiero decir con ello que considere que la Tierra está viva de un modo consciente, y ni siquiera viva en el sentido en que lo está un animal o una bacteria. Creo que ya es hora de que ampliemos la definición dogmática y limitada de la vida como algo que se reproduce y corrige los errores de reproducción por selección natural entre la progenie.

Me ha resultado práctico imaginarme la Tierra como si fuera un animal, quizá porque mis primeras experiencias científicas después de graduarme fueron en el campo de la fisiología, pero nunca ha sido más que una metáfora, un *aide pensée*, no más

trascendente que cuando un marinero se refiere a su barco como «ella».¹ Hasta hace poco no pensaba en ningún animal en concreto, aunque sí lo concebía grande, como un elefante o una ballena. Recientemente, conforme he ido siendo más consciente del calentamiento global, he empezado a pensar en la Tierra más como un camello. Los camellos, a diferencia de la mayoría de los animales, regulan su temperatura corporal a dos niveles distintos pero estables. De día, en el desierto, cuando el calor es insoporable, suben su temperatura a 40 °C, un valor lo bastante cercano a la temperatura exterior para evitar tener que refrescarse sudando, lo que implicaría gastar valiosa agua. Por la noche, cuando hace frío en el desierto, a veces hasta con valores bajo cero, el camello perdería demasiada energía si tratase de mantener su temperatura corporal a 40 °C, así que la reduce a unos 34 °C. Gaia, igual que el camello, tiene diversos estados estables que le permiten adaptarse a los cambios internos y externos. La estabilidad es casi siempre invariable, como sucedió durante los milenios que precedieron a 1900. Cuando la presión es demasiado fuerte, sea hacia el calor o hacia el frío, Gaia, igual que haría un camello, adopta un nuevo estado estable que le resulte más fácil de mantener. Ahora está a punto de realizar uno de esos cambios.

La metáfora del camello es importante, porque para comprender y tratar de salir del lío en el que nos hemos metido con el cambio climático es necesario conocer la verdadera naturaleza de la Tierra e imaginarla como el ser vivo más grande del sistema solar, no como algo inanimado, al modo de esa vergonzosa idea de «la nave espacial Tierra». Hasta que no se produzca este cambio en nuestros corazones y mentes no percibiremos instintivamente que vivimos en un planeta vivo que responderá a los cambios que efectuamos sobre él bien aniquilando los cambios o

1. En inglés, los barcos, pese a ser objetos, tienen género, que es, además, siempre femenino. (N. de la t.)

bien aniquilándonos a nosotros. A menos que veamos la Tierra como un planeta que se comporta como si estuviera vivo, al menos para regular su clima y su química, no dispondremos de la voluntad suficiente como para cambiar nuestra forma de vida y comprender que precisamente esa manera de vivir es nuestro peor enemigo. Es cierto que muchos científicos, especialmente climatólogos, reconocen que nuestro planeta regula su clima y su química, pero la mayoría todavía no lo acepta. El concepto de Gaia, que un planeta sea capaz de mantenerse en un estado adecuado para la vida durante un período equivalente a un tercio de la existencia del universo, no es fácil de concebir, y hasta que el IPCC dio la voz de alarma aún eran menos quienes lo aceptaban. Trataré de proponer una explicación que pueda satisfacer a una persona práctica, como podría ser un médico. Es posible que no dispongamos todavía de una definición completa que pueda satisfacer a un científico, pero eso no puede ser excusa para seguir sin hacer nada.

He descubierto que describir Gaia es parecido a enseñar a alguien a nadar o a montar en bicicleta: hay mucho que no puede explicarse con palabras. Para hacerlo fácil, empezaré por la parte más sencilla, con una pregunta que ilustra la diferencia fundamental entre dos maneras de reflexionar sobre el mundo. La primera de esas maneras la ofrece la ciencia de sistemas, que toma como objeto cualquier cosa viva, sea un organismo o un mecanismo de ingeniería en funcionamiento; la segunda es la ciencia reduccionista, el análisis de las relaciones causa-efecto que ha dominado los últimos dos siglos de nuestra ciencia. La pregunta sencilla es: ¿qué tiene que ver orinar con el gen egoísta?

Cuando era joven me sorprendía el gran número de eufemismos que existen para denominar la prosaica y sin embargo imprescindible práctica de expulsar la orina de nuestro cuerpo. Los médicos y las enfermeras te piden que «les des una muestra» o «hagas un pis» y a menudo ofrecen un pequeño contenedor para que quede claro lo que quieren. Cada día, coloquialmente, utili-

zamos expresiones como «cambiarle el agua al canario» o «hacer aguas menores», o vamos al «aseo» o al «baño». En ocasiones simplemente «nos ausentamos».

Quizá todo provenga de los tabúes del siglo XIX sobre el sexo, cuando no sólo no se mencionaban los genitales en el curso de una conversación educada, sino que el tabú se extendía también a sus funciones alternativas. Como observó el extraordinario biólogo norteamericano George Williams en 1996, el hecho de que usemos el mismo órgano para el placer, la reproducción y la eliminación de residuos es una muestra sensacional de la economía de la evolución. Hasta hace poco no empecé a preguntarme si no habría algo más profundo escondido tras este misterio menor. ¿Por qué orinamos? No es una pregunta tan tonta como parece. La necesidad de deshacerse de productos residuales como la sal sobrante, la urea, la creatina y otros muchos desperdicios del metabolismo es obvia, pero es sólo parte de la respuesta. Quizá lo hacemos por altruismo. Si nosotros y los demás animales no orináramos puede que la vida vegetal de la Tierra se hubiera extinguido por falta de nitrógeno.

¿Es posible que en la evolución de Gaia —el gran sistema de la Tierra— los animales hayan evolucionado para excretar nitrógeno en forma de urea o ácido úrico en lugar de en forma de gas? Para nosotros, la secreción de urea representa un desperdicio de energía y agua. ¿Por qué, si no es por altruismo, hemos desarrollado en nuestra evolución algo que no redunde en nuestro beneficio? La urea es el residuo que genera el metabolismo a partir de la carne, el pescado, el queso y las judías que comemos; alimentos ricos en proteínas, que son la base de la vida. Durante la digestión, descomponemos lo que hemos comido en sus componentes químicos. No nos comemos la proteína muscular de la ternera y la usamos tal cual en nuestros músculos, sino que construimos o regeneramos nuestros músculos y demás tejidos a partir de la conversión de los aminoácidos y las proteínas que obtenemos de los alimentos en nuevas proteínas, según está

planificado en nuestro ADN. Usar las proteínas de la ternera directamente para mantener nuestros músculos sería como utilizar las piezas de un tractor para reparar una lavadora. Los desperdicios que resultan de toda esta trabajosa construcción y reconstrucción se acaban convirtiendo en urea y parece que no tenemos otro remedio que diluirla en agua y librarnos de ella a través de la orina.

La urea es un elemento químico simple, resultado de la combinación del amonio y el dióxido de carbono, o, como diría un químico orgánico, el ácido carbónico de la diamida NH_2CONH_2 . ¿Por qué nosotros y otros mamíferos hemos evolucionado hasta excretar nuestro nitrógeno de esta forma? ¿Por qué no descomponer la urea hasta convertirla en dióxido de carbono, agua y nitrógeno gaseoso? Sería mucho más sencillo expulsar nitrógeno exhalándolo durante la respiración, lo que además nos ahorraría el agua que desperdiciamos para excretar la urea; de hecho, oxidar la urea incluso nos aportaría un poco de agua, por no hablar de la energía extra que obtendríamos.

Examinemos los datos. Cien gramos de urea equivalen metabólicamente a 90 kilocalorías o, si lo prefiere, 379 kilojulios. Pero si en vez de consumirla la expulsamos mediante la orina, necesitamos más de cuatro litros de agua para eliminar esos cien gramos de urea diluidos en una solución no tóxica. En condiciones normales excretamos diariamente cuarenta gramos de urea en un litro y medio de agua. No es mucho, creará, pero imagine unos animales viviendo en una región desierta en la que escasean la comida y el agua. Si apareciera un mutante que fuera capaz de transformar la urea en nitrógeno, dióxido de carbono y agua, éste tendría una importante ventaja comparativa respecto al resto y probablemente podría dejar más descendientes que sus vecinos excretores de urea. Según una interpretación simplista de la teoría de Darwin, la selección natural favorecería a ese mutante, que podría extenderse rápidamente y convertirse en dominante.

En este punto, un bioquímico escéptico diría: «¿No os dais

cuenta de que los productos del amonio o de la oxidación de la urea son venenosos y es por eso por lo que excretamos el nitrógeno como urea?» Pero mi respuesta sería: «Cuénteselo a las bacterias que convierten los compuestos de nitrógeno en gas y que abundan en la tierra y el océano.» Más aún, una simbiosis con organismos capaces de descomponer el nitrógeno sería una solución tan buena o mejor que tratar de metabolizar la urea nosotros mismos.

Así que, como ve, la urea es un desecho para nosotros y además desperdicia energía y agua, pero si el ser humano y otros animales no orináramos el nitrógeno sino que lo elimináramos mediante la respiración, puede que hubiera menos plantas y que eso conllevara hambre. ¿Cómo puede ser que nos volviéramos tan altruistas y adquiriéramos una visión tan lúcida de lo que más nos beneficiaba? Quizá haya más sabiduría de la creemos en la manera en que Gaia trabaja y en cómo interpreta el gen egoísta.

Cuando empecé a investigar sobre Gaia hace cuarenta años, la ciencia no era, como es hoy, una labor organizada y empresarial. Apenas existía planificación o informes de los diferentes estadios de una investigación, y casi nunca se celebraban reuniones para decidir cuál debía ser el siguiente paso. No había reglamentos relativos a la salud o a la seguridad. Se esperaba que, como científicos cualificados, fuéramos responsables de nuestra propia seguridad y de la de nuestros colegas. Más diferencial aún era que entonces la ciencia se hacía manualmente en el laboratorio, no simulada en la pantalla de un ordenador en una oficina o un cubículo. En ese idílico entorno, era posible realizar un experimento para confirmar o descartar una idea. A veces la respuesta era tan simple como que se había acertado o fallado, pero en otras ocasiones resultaba más equívoca. Fueron precisamente esas zonas de penumbra las que muchas veces llevaron, por puro azar, a una revelación totalmente inesperada, a un auténtico descubrimiento.

Eso pasó con la idea de la secreción de urea. Pensar en el ni-

trógeno de esa manera me llevó a reflexionar sobre el desconcertante problema del oxígeno en el período Carbonífero, hace unos trescientos millones de años. Una prueba importante en favor de Gaia procede de la abundancia de gases atmosféricos como el oxígeno o el dióxido de carbono. La cantidad de estos gases siempre ha sido la adecuada para las formas de vida que habitaban la Tierra en cada determinado momento. Existe una sólida base de datos y un fundamentado marco teórico que lleva a pensar que el actual porcentaje de oxígeno de la atmósfera es exactamente el adecuado para la vida. Más de un 21 por ciento conlleva un alto riesgo de incendio; con un 25 por ciento, la probabilidad de que el gas se incendie por una chispa se multiplica por diez. Andrew Watson y Tim Lenton han creado un modelo del oxígeno en la atmósfera y han descubierto que el riesgo de incendio de la vegetación seca juega un papel importante en el mecanismo de regulación del oxígeno. Si el nivel desciende por debajo del 13 por ciento no se producen incendios y por encima del 25 son tan violentos que parece imposible que los bosques alcancen la madurez. Imagine la sorpresa cuando el eminente gequímico Robert Berner afirmó que durante el período Carbonífero, hace unos trescientos millones de años, el oxígeno constituía el 35 por ciento de la atmósfera. Llegó a esta conclusión a partir de un modelo basado en un análisis detallado de la composición de las rocas en el Cretácico. Según ese estudio, en aquellos tiempos una gran cantidad de carbono estaba pasando a formar parte de suelo —mucho del cual es el carbón que hoy extraemos— y entonces, por fuerza, la proporción de oxígeno en el aire tenía que ser mayor para compensar ese carbono que iba enterrándose.

Mi primera reacción fue pensar que Berner tenía que estar equivocado; gracias a los cuidadosos experimentos realizados por mi colega Andrew Watson en la década de 1970, sabía que los incendios en un medio que contiene un 35 por ciento de oxígeno son casi tan violentos como los que se dan en oxígeno puro.

No me impresionaron los experimentos de laboratorio que parecían demostrar que las ramitas de los árboles no se incendiaban con facilidad con un 35 por ciento de oxígeno. Hay una enorme diferencia entre una simulación de laboratorio y un incendio forestal real, cuyas altas temperaturas secan la madera que está en el camino del fuego y en el que los vientos provocados por el propio incendio hacen llegar constantemente aire nuevo rico en oxígeno. Tampoco me hizo mella que fuera imposible que las grandes libélulas de la época pudieran volar a menos que hubiera un 35 por ciento de oxígeno en el aire. El debate se prolongó hasta que un amigo, Andrew Thomas, un científico acústico y también submarinista, sugirió que era posible que ambas partes tuviéramos razón. Berner estaba en lo cierto al decir que había mucho más oxígeno en la atmósfera y yo también acertaba al decir que no podía haber mucho más de un 25 por ciento. Lo único que hacía falta era que también hubiera más nitrógeno en el aire. No es la cantidad de oxígeno la que determina su inflamabilidad, sino su proporción respecto al nitrógeno.

Aproximadamente el 40 por ciento del nitrógeno de la Tierra está hoy enterrado en su corteza; quizá en el Cretácico ese nitrógeno estaba en el aire y mantenía la proporción de oxígeno a un nivel adecuado para los árboles. También se puede especular con que la vida microbial del Precámbrico que precedió a la aparición de árboles y animales no conservaba el nitrógeno, por lo que éste tenía que estar presente como gas en el aire.

Todas estas ideas sobre el nitrógeno son puras especulaciones, pero las incluyo para ilustrar cómo la teoría de Gaia[†] se ha desarrollado a partir de ideas que fueron al principio muy vagas, o a través de productivos errores que plantaron semillas de las que surgieron ideas mucho mejores.

Así que vayamos ahora a un nivel más profundo y tratemos de percibir a Gaia mirando la Tierra desde el exterior, contemplando el planeta entero. Imagine una nave espacial tripulada por alienígenas inteligentes que mirasen el sistema solar desde el

espacio. A bordo de su nave tienen instrumentos lo bastante potentes como para analizar la composición química de las atmósferas de cada uno de los planetas. A partir de este análisis, sus instrumentos automáticos les indicarían que el único planeta con abundante vida era la Tierra; más todavía, los instrumentos indicarían que la vida en la Tierra se basaba en el carbono y que estaba lo suficientemente avanzada como para haber desarrollado una civilización industrial. El instrumento que utilizarían los alienígenas para realizar tales mediciones no tiene nada de fantástico: un pequeño telescopio con un espectrómetro de infrarrojos y un ordenador que lo controlase y analizase sus datos bastarían. Éstos mostrarían que en las capas superiores de la atmósfera coexistían el metano y el oxígeno, y el científico de la nave sabría que esos gases reaccionan a la luz del sol y que, por tanto, algo en la superficie tenía que estar produciendo grandes cantidades de ambos. Las probabilidades de que eso suceda por causalidad como consecuencia de un proceso de química inorgánica son prácticamente infinitas. Los alienígenas concluirían que nuestro planeta era un hábitat adecuado para la vida, y la presencia de CFC delataría la presencia en él de una civilización tan imprudente como para haber liberado este gas en la atmósfera.

En la década de 1960 yo trabajaba diseñando instrumentos para el equipo de exploración planetaria de la NASA, y reflexiones como la descrita me llevaron a proponer el análisis de la atmósfera de Marte como medio para detectar si había vida en ese planeta. Afirmé que, si la había, ésta tendría que usar la atmósfera como fuente de materias primas y depositar en ella sus residuos. Ese proceso alteraría la composición atmosférica y la distinguiría de la de un planeta muerto. Propuse que la Tierra, rica en vida, fuera el modelo de contraste y utilicé el excelente trabajo de biogeoquímica del eminente científico G. E. Hutchinson como base de información respecto a las fuentes y sumideros de los gases del aire. Sus conclusiones defienden que el metano y el óxido nitroso se producen biológicamente y que la presencia de

organismos vivos cambia radicalmente la cantidad de nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono en la atmósfera. En aquellos tiempos, nadie sabía mucho sobre la composición de la atmósfera de Marte, pero en 1965 una medición astronómica realizada a través de infrarrojos desde la Tierra reveló que la atmósfera de Marte estaba compuesta casi por entero de dióxido de carbono y cercana al punto de equilibrio químico. Según mi teoría, pues, lo más probable era que no hubiera vida en el planeta, lo que no resultaba una respuesta particularmente popular que dar a mis patrocinadores. Dejando a un lado la detección de vida, me pregunté qué era lo que mantenía nuestra químicamente inestable atmósfera en un estado de equilibrio dinámico o, lo que era lo mismo, qué era lo que mantenía a la Tierra siempre habitable. Más aún, la continuidad de la vida requiere un clima tolerable a pesar de que la cantidad de luz que nos llega del sol ha aumentado un 30 por ciento desde la formación de la Tierra. Fue esta línea de investigación la que me llevó a la hipótesis de que los organismos vivos regulan el clima y la química de la atmósfera según sus propios intereses. En 1969, el novelista William Golding bautizó esta hipótesis como Gaia. Pocos años después, empecé a colaborar con la eminente bióloga norteamericana Lynn Margulis. En nuestro primer trabajo conjunto expusimos que la hipótesis Gaia afirma que la biosfera es un sistema de control activo y adaptable, capaz de mantener la Tierra en homeostasis.

Desde sus inicios en la década de 1960, la idea de la autorregulación global del clima y la química de la atmósfera fue impopular entre los científicos dedicados a estudiar tanto la Tierra como la vida. En el mejor de los casos la consideraban una explicación innecesaria del funcionamiento de la vida en la Tierra; en el peor, la condenaban con mordacidad y sarcasmos. Los únicos científicos que acogieron la propuesta con entusiasmo fueron unos pocos meteorólogos y climatólogos. Algunos biólogos pronto cuestionaron la hipótesis, afirmando que una biosfera que se autorregulara nunca podría haber evolucionado, pues la

unidad sobre la que se aplicaba la selección era el organismo, no la biosfera como un todo. Tuve la fortuna de tener frente a mí, como principal abogado de la oposición darwinista a Gaia, a ese excelente autor que es Richard Dawkins; fue un debate difícil, pero con el tiempo acabé estando de acuerdo con él en que la evolución darwinista, tal como se entendía entonces, era incompatible con la hipótesis de Gaia.[†] Yo no cuestionaba a Darwin, así que ¿qué era lo que fallaba en la hipótesis de Gaia? Sabía que el hecho de que el clima y la composición química del aire fueran constantes era una buena prueba de que el planeta se autorregulaba. Por otra parte, la estimulante idea de Gaia me llevó a descubrir los portadores moleculares naturales del azufre y el yodo: sulfuro de dimetilo (DMS) y yodometano. Años después, en 1986, mientras colaboraba con mis colegas en Seattle, realizamos el asombroso descubrimiento de que el DMS de las algas del océano[†] estaba relacionado con la formación de las nubes y con el clima. Nos conmovió observar un pequeño fragmento de los mecanismos de regulación climática de Gaia y quedamos en deuda con la comunidad científica dedicada al estudio del clima, que nos tomó lo bastante en serio como para otorgarnos a los cuatro, Robert Charlson, M. O. Andreae, Steven Warren y a mí, su premio Norbert Gerbier en 1988.

Volviendo al debate con los darwinistas, en 1981 se me ocurrió que Gaia era la totalidad del sistema —organismos y medio ambiente juntos— y que era este gran sistema planetario el que había evolucionado hasta autorregularse, no sólo la biosfera. Para poner a prueba esta idea creé un modelo computerizado que mostraba plantas de color claro y otras de color oscuro compitiendo por el crecimiento en un planeta en el que cada vez había más luz solar. Sólo se trataba de una simulación, pero el programa me mostró cómo ese mundo imaginario regulaba su temperatura hasta llegar a un punto muy próximo al óptimo para el crecimiento de las margaritas a partir de una mayor emisión de calor de su estrella. Ese modelo, al que llamé «El mundo

de las margaritas», era inusitado como modelo evolucionario, y estaba compuesto por una serie de ecuaciones diferenciales; era estable, indiferente a las condiciones iniciales y resistente a las perturbaciones.

El mundo de las margaritas simula un planeta como la Tierra que orbita alrededor de una estrella como nuestro sol. En ese mundo sólo hay dos especies de plantas, y ambas compiten por el espacio vital, como haría cualquier planta. Cuando el sol es más joven y frío, también lo es el modelo de planeta, y en esa época prosperan las margaritas oscuras. Sólo en los puntos más cálidos, cerca del ecuador, se encuentran margaritas de color claro. Sucede así porque las margaritas oscuras absorben luz del sol para mantenerse a sí mismas, la región que ocupan y el conjunto del planeta, en un estado templado. Conforme la estrella se calienta, las margaritas oscuras que viven en los trópicos son desplazadas por las margaritas claras, porque éstas reflejan la luz del sol y, por lo tanto, se mantienen más frías; también enfrían así su región y el planeta entero. Al irse calentando cada vez más la estrella, las margaritas claras van predominando sobre las oscuras y, a través de la competencia por el espacio entablada entre ambas especies, el planeta siempre se mantiene cerca de la temperatura ideal para la vida. Al final, la estrella se vuelve tan caliente que ni siquiera las margaritas claras pueden sobrevivir, y el planeta se convierte en un pedazo de roca esférica muerta.

El modelo no es más que una caricatura, pero piense en él como si fuera el plano del metro de Londres: no vale como callejero de Londres, pero es ideal para orientarse en la red de metro de esta bulliciosa ciudad. El mundo de las margaritas se concibió para mostrar que la teoría de Darwin de la selección natural no sólo no contradice la teoría de Gaia, sino que, de hecho, forma parte de ella.

La reacción de la mayoría de biólogos y geólogos al mundo de las margaritas fue, como buenos científicos, la de tratar de demostrar que el modelo no funcionaba. Lo intentaron repetida-

mente, cada vez con más ahínco, pero no tuvieron éxito. Para responder a algunos de esos críticos, creé modelos mucho más ricos en especies que el mundo de las margaritas. Incluían diversos tipos de plantas, conejos que se las comían y zorros que cazaban a los conejos. Pero todos los mundos resultaron tan estables y capaces de autorregularse como el mundo de las margaritas. Mi amigo Stephan Harding ha realizado modelos de ecosistemas enteros con cadenas y redes alimenticias completas y los ha utilizado para mejorar nuestro conocimiento de la biodiversidad.

La persistencia de las críticas me llevó a comprender que Gaia no sería considerada como ciencia seria hasta que fuera aprobada públicamente por científicos serios. En 1995 empecé a debatir con John Maynard Smith y William Hamilton, ambos dispuestos a hablar sobre Gaia como tema científico pero ambos también opuestos a la idea de que la autorregulación planetaria pudiera evolucionar a partir de la selección natural. Aun así, Maynard Smith apoyó sin ambages a mi amigo y colega Tim Lenton cuando éste escribió un artículo fundamental en *Nature* titulado «Gaia y la selección natural». En él describía los diversos mecanismos que la Tierra utiliza para conseguir su objetivo de mantener la habitabilidad para cualquier forma de vida que albergue en cada momento. Hamilton, en un artículo escrito conjuntamente con Lenton bajo el provocativo título de «Espora y Gaia», se preguntó si la necesidad de dispersarse que tienen los organismos era el eslabón que vinculaba las algas del océano con el clima. En 1999, Hamilton dijo en un programa de televisión que «igual que hizo falta un Newton para explicar las observaciones de Copérnico, necesitábamos otro Newton para explicar cómo la evolución darwinista conduce a un planeta habitable».

Entonces, al menos en Europa, se empezó a romper el hielo y, en una conferencia en Amsterdam en 2001 —en la que estaban representadas las cuatro grandes organizaciones que se ocupan del cambio climático global—, más de mil delegados firma-

ron una declaración que tenía como primera afirmación importante la siguiente: «La Tierra se comporta como un sistema único y autorregulado, formado por componentes físicos, químicos, biológicos y humanos.»

Estas palabras supusieron una abrupta ruptura con la sólida ciencia convencional previa, cuyos biólogos sostenían que los organismos se adaptan a su entorno, pero no lo cambian, y cuyos científicos dedicados a la Tierra creían que las fuerzas geológicas bastaban para explicar la evolución de la atmósfera, la corteza terrestre y los océanos. Aquí cabe recordar los esfuerzos del eminente biólogo Eugene Odum, que ya en la década de 1960 veía un ecosistema de entidad parecida a Gaia. Hasta donde yo sé, ninguno de los biólogos que tan contundentemente rechazaron la idea de Odum ha admitido hasta ahora su error.

La Declaración de Amsterdam supuso un paso decisivo hacia la adopción de la teoría de Gaia como modelo de trabajo para la Tierra; sin embargo, las divisiones territoriales y algunas dudas que se resistían a disiparse hicieron que los científicos no se atrevieran, como afirma mi teoría, a declarar que el *objetivo* de esa Tierra que se autorregula es mantener la habitabilidad. Esta omisión permite a los científicos ser partidarios de boquilla de la Ciencia del Sistema de la Tierra (ESS),[†] o Gaia, pero al mismo tiempo continuar llevando a cabo de forma atomizada sus modelos e investigaciones. Esta tendencia tan natural y humana de los científicos a resistirse a los cambios, en condiciones normales no hubiera importado mucho, finalmente hubieran abandonado los viejos hábitos y los geoquímicos hubieran empezado a considerar la biota como una parte de la Tierra que evoluciona y responde a los cambios y no como si la vida fuera simplemente una reserva pasiva, como los sedimentos o los océanos. Al final, incluso los biólogos hubieran acabado por considerar el medio como algo sobre lo que los organismos inciden activamente y no como algo inmutable a lo que adaptarse. Pero, por desgracia, los científicos cambian de opinión muy despacio, mientras que

la industria transforma la faz de la Tierra y la composición de la atmósfera muy de prisa. Ahora, la humanidad y la Tierra se enfrentan a un peligro mortal con poco tiempo para reaccionar. Si los mandos medios de la ciencia hubieran sido un poco menos reacios a aceptar la idea de Gaia, puede que hubiéramos contado con veinte años más para tomar trascendentales decisiones humanas y políticas respecto a nuestro futuro.

¿Cómo funciona Gaia?

La clave para comprender Gaia es recordar que opera dentro de una serie de límites o restricciones. Todo tipo de vida es impulsado por sus genes egoístas para reproducirse y si los únicos límites son la competencia y los depredadores, el resultado es la fluctuación caótica de las poblaciones. Los intentos de crear modelos de ecosistemas naturales que no incluyan limitaciones medioambientales —desde el célebre modelo de conejos y zorros del biofísico Alfred Lotka y su colega Vito Volterra a los últimos intentos, que se sirven de la teoría de la complejidad— no logran reproducir la sólida estabilidad de un ecosistema natural. Lotka avisó, ya en 1925, de que las ecuaciones de esos modelos demasiado simples carecían de un medio físico que las limitase y, por tanto, serían difíciles de resolver.

A pesar de esta advertencia, las matemáticas abstractas de la biología de poblaciones ha fascinando a los biólogos académicos durante setenta años, por más que no representen el mundo real ni satisfagan a sus colegas más prácticos, los ecologistas que se ensucian las botas sobre el terreno. Analice cualquier ecosistema antiguo que sobreviva en alguno de los pocos lugares de la Tierra todavía intactos y verá que es dinámicamente estable, igual que el cuerpo humano.

Muchos biólogos del siglo xx se han acercado a su ciencia con fe en la infalibilidad de una descripción genética de la vida.

Su fe era tan fuerte que no podían concebir que un ecosistema evolucionara de forma independiente de los genes de las especies que lo constituían. De hecho, la evolución epigenética de ecosistemas y Gaia puede darse simplemente mediante la selección de las especies existentes. Cuando un ecosistema experimenta continuas perturbaciones, tales como el calor o las sequías excesivas, las especies que las toleran se imponen dentro del conjunto de genotipos existentes y puede que prosperen hasta convertirse en dominantes. Luego, la evolución genética afina el proceso de adaptación. La evolución de los ecosistemas y de Gaia necesita mucho más que el mero gen egoísta.

Las inestables matemáticas de la competición y depredación desbocadas entre organismos vivos no son distintas de las masas indisciplinadas y a menudo ebrias que se reúnen en los centros de las ciudades por la noche. La restricción que suponía una comunidad fuerte y segura de su poder, apoyada por una eficaz fuerza policial, logró en otros tiempos que reinara la tranquilidad y la estabilidad, pero ahora ha desaparecido, y a menudo impera el caos. La propia Gaia está seriamente limitada por las reacciones del medio inerte. Los darwinistas tienen razón cuando afirman que la selección natural favorece a la especie que da a luz a la prole más numerosas, pero ese crecimiento vigoroso tiene lugar dentro de un espacio delimitado, en el que la reacción del medio propicia una autorregulación natural.

Las consecuencias de un crecimiento exponencial sin límites se han puesto muchas veces como ejemplo de la fuerza de la vida. Si una simple bacteria se dividiera y repitiera esa división cada veinte minutos, suponiendo que no tuviera limitaciones al crecimiento y sus fuentes de alimento fueran infinitas, en apenas dos días el total de sus descendientes pesaría tanto como la propia Tierra. La depredación y una disponibilidad de nutrientes limitada son restricciones locales y, antes de Gaia, eran las únicas que los biólogos tenían en cuenta. Ahora sabemos que propiedades globales tales como la composición de la atmósfera y los océanos,

y el clima imponen restricciones que garantizan la estabilidad del sistema.

Pero ¿cómo actúan esas limitaciones medioambientales? Dependen de la tolerancia de los propios organismos. Todas las formas de vida tienen unas temperaturas máxima, mínima y óptima para su crecimiento. Lo mismo sucede con la acidez, salinidad y la abundancia de oxígeno en el aire y en el agua. En consecuencia, los organismos deben vivir dentro de los límites de estas propiedades de su medio ambiente.

Aparte de unos pocos organismos especializados, los extremófilos, que viven en manantiales termales cuyas aguas se acercan al punto de ebullición o en lagos saturados de sal o incluso en los potentes ácidos de nuestro estómago, casi todas las formas de vida son bastante quisquillosas en cuanto sus condiciones de vida. Las células individuales que constituyen la vida necesitan una combinación exacta de sales y nutrientes en su medio interno y sólo toleran pequeños cambios en la composición del medio que las rodea. Cuando esas células se reúnen a millones para formar grandes animales y plantas pueden regular su medio interno independientemente de los cambios externos. Por eso no nos perjudica nadar en agua salada o tomar una sauna. Pero las bacterias, algas y otros organismos unicelulares no tienen más opción que vivir a la temperatura y en las condiciones con las que se encuentren y, en consecuencia, se han adaptado a un amplio abanico de temperaturas, salinidad y acidez. Pero incluso para ellos el espectro de temperaturas tolerables está entre $-1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, punto en que se congela el agua del mar, y los $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Los humanos y la mayoría de mamíferos y aves tenemos una temperatura corporal de alrededor de $37\text{ }^{\circ}\text{C}$, y somos denominados homeotermes o de sangre caliente. Los reptiles e invertebrados, mucho menos remilgados, reciben el curioso nombre de poikilotermes o de sangre fría. Nuestros cuerpos pueden resistir una temperatura interna de entre $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $41\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante períodos cortos de tiempo, pero nos sentimos francamente mal en cuanto

descendemos de $36\text{ }^{\circ}\text{C}$ o superamos los $39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Tanto si vivimos como inuits en el Ártico o como bosquimanos en lo más tórrido del desierto de Kalahari, éstos son nuestros límites internos.

La mayor parte de la vida prospera entre 25 y $35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Sin embargo, ese intervalo afecta sólo a la parte fisiológica de la regulación. Las propiedades físicas de la parte material de la Tierra también influyen en la vida. Por encima de $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ el agua se expande al calentarse, y si la superficie del mar es calentada desde arriba por la luz solar, la capa superior absorbe la mayor parte del calor, con lo que se expande, haciéndose más ligera que las aguas más frías que quedan por debajo. Esa capa superior más templada tiene un grosor de entre treinta y cien metros. Se forma cuando la luz del sol es lo bastante potente como para subir la temperatura de la superficie más o menos por encima de los $10\text{ }^{\circ}\text{C}$.

La capa templada de la superficie es estable y, excepto durante grandes tormentas, como los huracanes, las aguas más frías del fondo no se mezclan con ella. La formación de esta capa superior templada es una potente restricción a la vida oceánica. Los productores primarios que habitan la recién formada capa templada a principios de la primavera, pronto acaban con casi todos los nutrientes y mueren. Los cadáveres de esta vida primaveral se hunden en el fondo del océano y pronto la superficie queda vacía de toda vida, exceptuando una limitada y hambrienta población de algas. Por eso las aguas tropicales son tan claras y azules: son los desiertos del océano y actualmente ocupan el ochenta por ciento de la superficie acuática. En el Ártico y el Antártico la temperatura de la superficie se mantiene por debajo de $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, de modo que en ellas se da una mezcla constante de aguas inferiores y superiores, lo que hace que haya nutrientes disponibles por todas partes.

A principios del siglo xx, los viajes entre continentes se realizaban por mar. Los que llegaban en barco a Europa desde Nueva York primero veían las aguas claras y azules de la corriente del Golfo y luego, de repente, navegando hacia el noreste dejando

atrás Cape Cod y entrando en la corriente fría de Labrador, las aguas se volvían oscuras y densas. Puede que a la vida oceánica le agraden las temperaturas suaves, pero las propiedades del agua impiden que disfruten de mucho más que 10 °C, a menos que se trate de un número extremadamente pequeño de individuos dispuestos además a vivir en condiciones cercanas a la inanición. Ésta es una limitación global importante al crecimiento y uno de los motivos por los que a Gaia le conviene mantenerse fría.

En los grandes desiertos de los actuales océanos también hay oasis. Se encuentran cerca de los continentes, donde el agua fría y rica en nutrientes asciende desde las profundidades. En las zonas marítimas que quedan frente a los estuarios de grandes ríos como el Mississippi, el Rin, el Indo y el Yangtzé se forman oasis artificiales, ricos en nutrientes debido a los desechos que en tierra generan los cultivos intensivos. Pero estos oasis, tanto los naturales como los artificiales, no son relevantes.

Otra limitación similar e igualmente importante se da en la superficie de la Tierra. Los organismos vivos prosperan cuando la temperatura ronda los 40 °C. Pero en el mundo natural, el agua que necesitan para vivir es difícil de encontrar cuando la temperatura asciende por encima de los 20 °C. En invierno, cuando llueve y las temperaturas se mantienen por debajo de los 10 °C, el agua permanece en el suelo más tiempo, manteniéndolo húmedo y productivo. En verano, con temperaturas medias cercanas a los 20 °C, la lluvia se evapora pronto y la superficie se seca; a menos que llueva constantemente, el suelo pierde humedad. En algún punto por encima de los 25 °C, la evaporación es tan rápida que si no llueve continuamente la tierra se convierte en un desierto. Igual que sucede en la capa superior del océano, a los organismos les favorece el calor, pero las propiedades físicas de sus respectivos medios frenan su crecimiento.

Richard Betts, del Hadley Centre, ha demostrado cómo las grandes selvas tropicales han superado esta limitación adaptándose a su entorno cálido mediante la capacidad de reciclar el agua. El

ecosistema lo logra manteniendo las nubes y la lluvia encima de la selva, pero esta propiedad también tiene sus límites. Él y Peter Cox sostienen que un incremento de sólo 4 °C en la temperatura sería suficiente para acabar con la selva amazónica y convertirla en un páramo o desierto. Esta destrucción sería consecuencia tanto de la evaporación más rápida de la lluvia, al haber mayor temperatura, como de los cambios globales en el sistema de vientos que se producirían en un mundo 4 °C más cálido.

El agua pura se congela a los 0 °C, mientras que en los océanos la sal reduce la temperatura de congelación hasta -1,6 °C. La vida puede adaptarse a temperaturas bajo cero —los peces nadan en aguas bajo cero no congeladas—, pero en estado de congelación, la vida activa es imposible. Cuando Sandy y yo visitamos los laboratorios del British Antarctic Survey en Cambridge nos quedamos embelesados mirando un pez que, en un tanque con agua a una temperatura de -1,6 °C, nadaba vivaz y rápidamente hacia nuestro anfitrión anticipando la comida que éste iba a darle. Era obvio que, para el pez, aquella era una temperatura tolerable. Cuando el agua de un organismo se congela o se convierte en vapor, las sales disueltas en ese organismo se concentran. Si la concentración de sal sobrepasa el nivel crítico del 8 por ciento, el organismo muere inmediatamente. Los organismos se han adaptado a este problema hasta cierto punto. El agua de mar, por ejemplo, tiene un 6 por ciento de sal y está cercana por tanto al límite letal, pero la selección natural ha favorecido a los organismos que pueden generar sustancias capaces de neutralizar las consecuencias dañinas del aumento de sal. En el océano se generan grandes cantidades de propionato de dimetilsulfonio con este propósito. En la tierra, los insectos del Ártico han desarrollado compuestos anticongelantes que impiden que la sal se acumule hasta niveles letales en su organismo cuando se congelan.

Estas limitaciones físicas impuestas por el agua influyen en el crecimiento, al definir la relación entre éste y la temperatura controlan la distribución de la vida en la Tierra. Desde un pun-

to de vista puramente humano, el actual período interglacial —al menos antes de que empezáramos a perturbarlo— es un estado preferible a la glaciación. Quizá por eso los grupos humanos más numerosos vivimos en las regiones del hemisferio norte, que quedaron cubiertas por glaciares o tundra durante la edad de hielo. Desde el punto de vista de Gaia, la glaciación era un estado deseable, pues había mucha menos agua templada en la superficie de los océanos y, por tanto, mucha más vida en ellos. Por otra parte, el agua que originó los grandes glaciares procedía de los mares, con lo que el nivel de éstos descendió unos 120 metros, lo que habría hecho emerger una área de tierra del tamaño de África, en la que podían crecer plantas. Como demuestra la escasez de dióxido de carbono en esa época, la zona de la Tierra más fría albergaba más vida pues hacen falta muchos seres vivos para reducir el dióxido de carbono a menos de 200 partes por millón (ppm). Más aún, las muestras extraídas del núcleo de hielo de la Antártida sugieren que las emisiones de sulfuro de dimetilo (DMS) eran cinco veces mayores en la edad de hielo que en el actualidad. Esa mayor producción de sulfuro gaseoso supone la existencia de más algas marinas, la fuente de DMS en los océanos. Desde mi punto de vista, si el sistema Tierra, es decir, Gaia, pudiera escoger, preferiría la edad de hielo a la actual era relativamente templada.

Pero Gaia no se limita a regular la temperatura. También es vital que mantenga una composición química estable. Andrew Watson y Tim Lenton han avanzado mucho en el camino del descubrimiento del mecanismo regulador del oxígeno atmosférico y hacia el esclarecimiento del papel que juega ese elemento escaso pero clave que es el fósforo. Peter Liss ha investigado las fuentes biológicas en los océanos de elementos esenciales como el azufre, el selenio y el yodo. Los complejos vínculos entre las algas marinas, la producción de azufre gaseoso, la química at-

mosférica, la física de las nubes y el clima están siendo estudiados en docenas de laboratorios de todo el mundo. Ahora que se ha aceptado la existencia de la regulación gaiana, aunque no se haya comprendido cómo funciona, se está llevando a cabo un esfuerzo global para descubrir las estadísticas vitales de la Tierra. Muchos de los detalles están disponibles en el libro *The Earth System*, de Kump, Kasting y Crane. Vale la pena utilizarlo como fuente, aunque no sea, como es normal en Norteamérica, tan gaiano como podría.

En 1994, uno de los autores, mi amigo el geoquímico norteamericano Lee Kump, y yo publicamos un artículo en *Nature* que describía un modelo de la Tierra como el mundo de las margaritas pero más realista; en vez de margaritas había ecosistemas marinos de algas que afectaban al clima reduciendo el nivel de dióxido de carbono y creando nubes blancas que reflejaban la luz del sol. En las masas terrestres contábamos con ecosistemas de bosques que también reducían el dióxido de carbono y creaban nubes. La parte clave de nuestro modelo era el nivel de crecimiento de los organismos a distintas temperaturas. Tomamos los valores generalmente aceptados de la ratio de crecimiento de las algas y los árboles de los bosques en condiciones ideales en las que el agua y los nutrientes no estaban restringidos. Estos datos revelaron que el crecimiento era óptimo a los 30 °C y se detenía por debajo de 0 °C y por encima de 45 °C. Luego incluimos en el modelo las limitaciones que existen en el mundo real, consecuencia de las propiedades físicas del agua. Para las algas marinas, la temperatura óptima de crecimiento se situaría cerca de los 10 °C, pues por encima de este valor, como hemos visto, se forma una capa superior estable que impide el suministro de nutrientes. De forma similar, en tierra, el límite máximo de crecimiento de los árboles vendría dado por el ritmo de evaporación del agua. El óptimo se situaba cerca de los 20 °C.

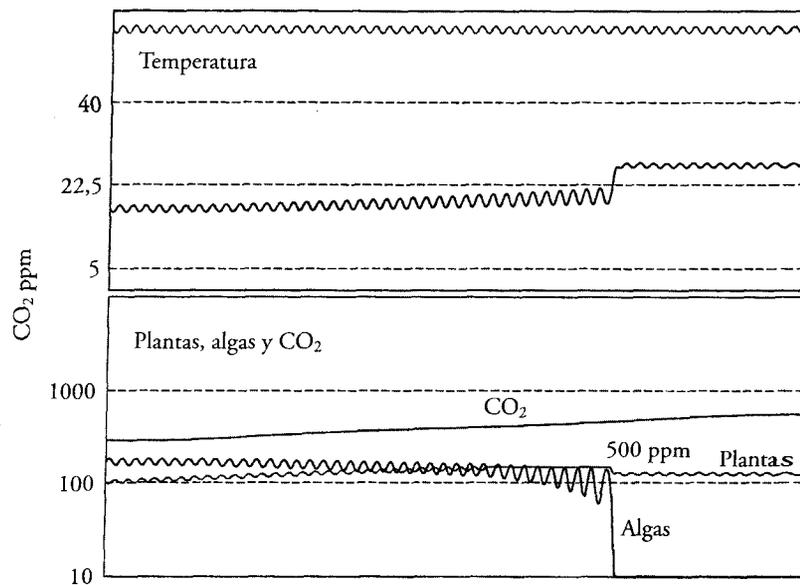
Luego probamos a incrementar progresivamente el calor del sol y también a mantener la temperatura constante pero incre-

mentando el nivel de dióxido de carbono, tal como sucede hoy en el mundo real. El modelo demostró una buena capacidad de regulación, tanto por parte de los ecosistemas marinos como de los terrestres. Sin embargo, cuando el nivel de dióxido de carbono se acercaba a las 500 ppm, la regulación empezaba a fallar y se producía una repentina y violenta subida de la temperatura. La causa era el colapso de los ecosistemas marinos. A medida que la temperatura aumentaba, las algas se veían privadas de nutrientes por la cada vez mayor superficie templada de los océanos, hasta que al fin terminaban por extinguirse. Con la disminución progresiva de las zonas habitadas por algas, se reducía también la capacidad de éstas para refrescar el clima, y la temperatura se disparaba.

El cuadro 1 muestra la progresión del modelo con un nivel cada vez mayor de contaminación de CO₂, que va desde valores preindustriales hasta éstos multiplicados por tres. Hay que pre-

CUADRO 1

Predicción climática según el modelo descrito en el texto



cisar que, incluso después de triplicar el nivel preindustrial, el total sigue siendo menor de lo que estamos añadiendo hoy a la atmósfera. La parte de arriba del gráfico corresponde a los cambios de temperatura. La línea superior sería la temperatura que tendría un planeta muerto y la inferior la de nuestro modelo de la Tierra. El modelo indica simplemente si la respuesta es positiva o negativa. Introdujimos una pequeña variación periódica en el calor recibido del sol. La amplitud de esta fluctuación fue constante y se refleja en las variaciones de la por otra parte constante temperatura del planeta muerto de control que corresponde a la línea superior. La parte inferior del cuadro muestra los cambios que se producen en la vegetación terrestre, las algas marinas y el nivel de dióxido de carbono de la atmósfera. Mientras la regulación se producía, la cantidad de algas y plantas, así como la temperatura, mostraban oscilaciones moderadas, pero cuando el ecosistema algal empezó a verse amenazado, las fluctuaciones se hicieron mayores y se vieron amplificadas por la respuesta positiva. El repentino salto en la temperatura desde unos 16 °C a unos 24 °C sigue a la mayor fluctuación y la extinción de las algas.

El modelo se ajusta sorprendentemente bien al comportamiento observado y previsible de la Tierra. El punto de inflexión, 500 ppm de dióxido de carbono, comportaría, según el IPCC, un aumento de temperatura de unos 3 °C. Se trata de un incremento muy similar al de 2,7 °C predicho por el especialista en modelos climáticos Jonathon Gregory como suficiente para iniciar el deshielo irreversible de Groenlandia. Los reputados científicos profesionales que controlan el estado de los océanos y la atmósfera ya han informado de una aceleración del incremento de dióxido de carbono y de la desaparición de las algas conforme los océanos Pacífico y Atlántico se calientan.

Reconozco que los argumentos derivados de modelos como éste y de la geofisiología no son suficientes por sí mismos para justificar que los políticos adopten medidas, pero deberían ser tomados más en serio cuando sus resultados corren parejos con

las pruebas que demuestran que casi todos los sistemas que se sabe que afectan al clima de la Tierra están hoy en respuesta o reacción positiva. Cualquier incremento de calor procedente de cualquier fuente no sólo no encontrará resistencia, como sería de esperar en una Tierra saludable, sino que se verá amplificado. Por supuesto, si fuéramos capaces de instaurar una tendencia neta al enfriamiento, esa misma respuesta positiva trabajaría a nuestro favor acelerando el mismo.

Algunas de estas respuestas positivas son:

1) La reacción del albedo del hielo, mencionado en primer lugar por el geofísico ruso M. I. Budyko («albedo» se refiere a la reflectividad de un objeto o superficie). El suelo cubierto de nieve refleja casi toda la luz solar que le llega y la devuelve al espacio, por lo tanto se mantiene frío. Pero una vez la nieve de las orillas se empieza a derretir, bajo ella aparece el suelo oscuro, que absorbe la energía solar tornándose cada vez más caliente. Ese calor funde más nieve, y, con esta respuesta positiva, el deshielo se acelera hasta que toda la nieve ha desaparecido. Cuando la tendencia global es hacia el enfriamiento, el mismo proceso opera al revés. Ahora mismo, el hielo que flota en el casquete del Polo Norte se está fundiendo rápidamente y resulta un ejemplo perfecto del efecto Budyko en marcha.

2) A medida que los océanos se calientan, el área cubierta por aguas pobres en nutrientes crece, convirtiendo el océano en un lugar más inhóspito para las algas. Eso reduce el ritmo de reducción de dióxido de carbono en la atmósfera y disminuye la generación de estratos de nubes marinas reflectantes.

3) En tierra, el aumento de temperatura tiende a desestabilizar los bosques tropicales y a reducir el área cubierta por ellos. La tierra que sustituye a esos bosques carece de mecanismos de enfriamiento y está más caliente y, por lo tanto, igual que la nieve, los bosques van desapareciendo.

4) Richard Betts, en un artículo de 1999 para la revista

Nature, observó que los bosques boreales de Siberia y Canadá son oscuros y absorben calor. Conforme el mundo se vuelva más cálido extenderán su superficie hacia el norte, y así podrán absorber más calor.

5) Cuando mueren los ecosistemas de bosques o de algas, su descomposición libera dióxido de carbono y metano en el aire. En un mundo cada vez más cálido, esto también actúa como respuesta positiva.

6) En los cristales de hielo hay grandes depósitos de metano dentro de nichos moleculares denominados clatratos. Son estables sólo con el frío o a altas presiones. Al calentarse la Tierra hay un riesgo mayor de que estos clatratos se fundan liberando grandes cantidades de metano, que es un gas invernadero veinticuatro veces más potente que el dióxido de carbono.

Seguramente hay más sistemas, tanto geofísicos como geofisiológicos, que afectan al clima y que no estamos lejos de descubrir, pero el ritmo al que progresa el calentamiento global deja entrever que no existe ninguna gran reacción negativa capaz de contrarrestar el aumento de temperatura. El único sistema del que sabemos que responde negativamente (reacción negativa)[†] es un sumidero climático a largo plazo del dióxido de carbono, llamado «absorción de las rocas».[†] Se trata del proceso bioquímico mediante el cual el dióxido de carbono disuelto en agua de lluvia reacciona con las rocas de silicato de calcio. La existencia de vegetación en las rocas potencia de manera importante la eliminación de dióxido de carbono y una temperatura más elevada incrementa el ritmo de crecimiento de la vegetación, logrando una mayor eliminación de dióxido de carbono. Pero demasiado calor sobre las masas terrestres podría convertir este proceso también en respuesta positiva. Asimismo, hay una respuesta negativa producida por las tormentas tropicales, las cuales agitan lo bastante el agua como para hacer subir nutrientes a la superficie desde las capas más profundas favoreciendo así el florecimiento

de las algas. No sabemos aún qué efecto tiene esto sobre el clima.

La polución atmosférica pasada y presente de dióxido de carbono y metano es similar a la emisión natural de estos gases hace cincuenta y cinco millones de años. Entonces, la temperatura subió unos 8 °C en las regiones moderadas del norte y 5 °C en los trópicos. Las consecuencias de ese calentamiento global duraron doscientos mil años.

La naturaleza de la regulación

Hasta hace muy poco, aceptábamos que la evolución de los organismos se producía según las pautas expuestas por Darwin, y que la evolución del mundo material compuesto por rocas, aire y océanos evolucionaba según decían los libros de geología. Pero la teoría de Gaia ve estas dos evoluciones anteriormente separadas como parte de una única historia de la Tierra, en la que la vida y su medio físico evolucionan como una sola entidad. Me parece útil pensar que lo que evoluciona son los nichos y que los organismos negocian luego la ocupación de los mismos.

Las ideas que acabo de presentar forman parte de los fundamentos de la teoría de Gaia, pero una explicación completa requeriría explicar en detalle cómo funciona la autorregulación. En algunos aspectos, eso no es sólo difícil, sino imposible: los fenómenos emergentes, como la vida, la conciencia y Gaia, se resisten a ser explicados en el lenguaje tradicional secuencial (causa-efecto) de la ciencia. La emergencia tiene ciertas similitudes con el fenómeno cuántico conocido como «entrelazamiento cuántico» y puede que no seamos capaces de explicarla por completo. Lo que sí podemos hacer es expresarla en el lenguaje de las matemáticas y usarla en la cornucopia de nuestros inventos. Los ingenieros son capaces de crear sistemas complejos de autorregulación, como los pilotos automáticos de barcos, aviones y naves espaciales; ingenieros de comunicaciones y criptólogos ya están creando

artefactos para aprovechar el entrelazamiento cuántico. Pero dudo que ninguno de ellos tenga una imagen mental consciente de sus inventos; los desarrollan y los comprenden intuitivamente.

Recapitulando, la parte de la idea de Gaia que más nos confunde es: ¿en qué consiste la autorregulación? Lo que más me sorprendió al principio del sistema de la Tierra era su capacidad de mantenerse siempre cerca de la temperatura óptima y de la composición química adecuada para la vida y que hubiera puesto en práctica esa capacidad durante más de tres mil millones de años, un cuarto del tiempo que se cree que lleva existiendo el universo. Pero durante muchos años después de la intuición de Gaia, no tuve la menor idea de cómo lo hacía.

Cuando tenía unos diez años, los domingos de invierno mi madre y mi padre me llevaban desde nuestra casa en Brixton hasta South Kensington. Nuestro destino era el museo Victoria and Albert, repleto de tesoros artísticos y en el que estaba también mi lugar favorito, el Museo de la Ciencia. Como a la mayoría de los niños de entonces, entre 1928 y 1932, me fascinaban las cosas mecánicas y quería saber cómo funcionaban. Una de las mejores piezas expuestas era un modelo del motor de vapor inventado por James Watt que incluía su famoso regulador. Este instrumento controla la velocidad del motor y consiste en un eje vertical accionado por el motor, cuyo extremo superior tiene dos brazos con cojinetes en las puntas. Ambos brazos están unidos al eje con bisagras, de modo que cuando el eje gira, la fuerza centrífuga eleva los cojinetes de los extremos. Cuanto más rápido va el motor, más arriba giran los cojinetes. Otro par de brazos sale del eje y se une a los primeros. La función de estos segundos brazos es simplemente levantar una palanca que controla el flujo de vapor que llega de la caldera al motor. Cuanto más rápido va el motor, más cerrada está la válvula que controla el vapor. Incluso siendo un niño, me parecía obvio que, gracias a ese regulador, el motor acabaría estabilizándose a una velocidad constante y que simplemente cambiando la configuración de la válvula que con-

trolaba el vapor se podía fijar esa velocidad en un punto más alto o más bajo. Era un ejemplo temprano de un sistema de control que utilizaba la respuesta negativa para dominar un motor que de otro modo sería incontrolable. Sin este regulador, la máquina se embalaría y probablemente acabaría autodestruyéndose a causa de una presión excesiva, o se detendría cuando la presión fuera baja. Pero ¿era en realidad así de simple?

James Clerk Maxwell fue, probablemente, el físico más importante del siglo XIX. Vinculó las fuerzas del magnetismo y la electricidad en una teoría global del electromagnetismo, teoría que puso los cimientos de la física moderna. Se dice que Maxwell afirmó, pocos días después de ver el regulador a cojinetes de Watt, que era «un buen invento, pero por mucho que lo intento, su análisis me supera». El desconcierto de Maxwell no es tan sorprendente. Los reguladores simples, los sistemas fisiológicos de nuestro cuerpo que regulan la temperatura, presión de la sangre y composición química, y los modelos simples como el mundo de las margaritas, caen fuera de las fronteras estrictamente definidas del pensamiento cartesiano de causa y efecto. Cuando un ingeniero como Watt «cierra el círculo» uniendo las partes de su regulador y haciendo que el motor funcione, no hay una manera lineal de explicar su trabajo. La lógica se vuelve circular y, lo que es todavía más importante, el todo es más que la suma de sus partes. Del conjunto de elementos que están en funcionamiento emerge una nueva propiedad, la autorregulación, una característica que comparten todas las cosas vivas, mecanismos como los termostatos y los pilotos automáticos, y la propia Tierra.

La filósofa Mary Midgley nos recuerda en sus preclaros escritos que el siglo XX fue la época triunfal del cartesianismo. Un período de *hubris* excesiva que se bautizó a sí mismo como el siglo de las certezas. En sus inicios, hubo físicos eminentes que afirmaron que «sólo quedan tres cosas por descubrir», y cuando terminó, éstos estaban volcados en la búsqueda de la «teoría unificada» o «teoría del todo». Ahora, en el siglo XXI, empezamos a tomar-

nos en serio la observación del gran científico Richard Feynman sobre la teoría cuántica: «cualquiera que crea que la entiende, probablemente no lo hace». El universo es un lugar mucho más complejo de lo que imaginamos. A menudo me planteo si nuestras mentes conscientes serán capaces de aprehender más de una pequeña fracción de él y me pregunto si nuestra comprensión de la Tierra es realmente mayor que la que una anguila tiene del océano en el que nada. La vida, el universo, la conciencia e incluso las cosas más simples, como montar en bicicleta, no se pueden explicar con palabras. Estamos justo empezando a descubrir estos fenómenos emergentes y el de Gaia es tan intrincado como la física cuántica o el entrelazamiento cuántico. Pero no por ello podemos negar que existan.

La historia de la vida de Gaia

La vida en la Tierra empezó hace tres o cuatro mil millones de años. Sólo podemos hacer conjeturas en cuanto a la fecha debido a la escasez de fósiles cuya datación podamos establecer con seguridad. Entonces el sol era un 25 por ciento menos luminoso que hoy. Creemos que la Tierra estaba cubierta casi en su totalidad por océanos y que los continentes eran muy pequeños. El planeta tuvo que mantener una temperatura lo bastante alta como para que el agua no se congelase y pudiera surgir la vida a pesar de la abundancia de dióxido de carbono en la atmósfera, con un nivel quizá treinta veces mayor que el actual. Puede que fuera un planeta más oscuro que hoy, pues había menos tierra y probablemente menos nubes. Cuando apareció la fotosíntesis, aprovechó ese dióxido de carbono como fuente de carbono y, al consumirlo, redujo su presencia en el aire.

Este proceso podría verse como una especie de efecto invernadero al revés, que hizo que las primeras formas de vida se enfrentaran a un problema parecido al calentamiento global, sólo que para ellas la amenaza no era el calor, sino el frío o la congelación. Creemos que esas tempranas manifestaciones de vida resolvieron el problema mediante la evolución de organismos llamados metanógenos, que todavía sobreviven en nuestros intestinos y en lugares donde no hay oxígeno. Estos «detritóforos»

viven de descomponer los cuerpos de fotosintetizadores muertos y de otros organismos. Durante el proceso se libera metano y dióxido de carbono en forma gaseosa. El metano es un gas que produce un efecto invernadero veinticuatro veces mayor que el dióxido de carbono y, disuelto en una proporción de 100 ppm en la atmósfera de la joven Tierra, fácilmente habría mantenido nuestro planeta lo bastante cálido para la vida. Esta idea, que se mencionó por primera vez en mi libro *Las edades de Gaia*, de 1988, se está convirtiendo poco a poco en la teoría más aceptada entre los geoquímicos.

Una vez Gaia empezó a existir como sistema planetario (creo que eso debió de producirse algún tiempo después de que se iniciase la vida) éste habría cambiado la atmósfera, de una dominada por el dióxido de carbono a otra en las que predominase el metano. Ese antiguo mundo de bacterias debió de ser dinámicamente estable y resistente a las perturbaciones, pero el abandono del estado estático de equilibrio de un planeta muerto habría hecho a Gaia vulnerable a ciertas catástrofes, como impactos de meteoritos o grandes erupciones volcánicas. Si una catástrofe de estas características hubiese acabado con la mayoría de los organismos vivos, el metano hubiera desaparecido rápidamente del aire y la Tierra se habría congelado. Pero en aquellas edades primeras había un mecanismo rápido y automático de recuperación: los volcanes emitían dióxido de carbono y provocaban un efecto invernadero que volvía a calentar la Tierra. Por grave que fuera la catástrofe, siempre sobrevivían suficientes bacterias como para reconstruir la maloliente fosa séptica que era el mundo de nuestro bebé Gaia. Ahora las cosas son distintas. Si una catástrofe destruyese el sistema de regulación de Gaia, acabaríamos con un planeta muerto y ardiente sin medios para recuperar su anterior estado más frío.

Los modelos simples de Gaia son estables y no es fácil perturbarlos, pero sólo si la masa de vida en el planeta modelo se mantiene por encima de una barrera crítica. Los modelos suelen

llegar al equilibrio entre el 70 y el 80 por ciento de la superficie planetaria habitada, asumiendo que el resto está vacío o sean desiertos u océanos escasamente poblados. Si una plaga o alguna otra desgracia acaba con más del 70 al 90 por ciento de la población, la temperatura y la composición química ya no pueden regularse y el modelo se precipita rápidamente al estado de equilibrio de un planeta muerto.

La vulnerabilidad de estos modelos a los factores desestabilizadores depende de la intensidad del estrés que el planeta estuviera soportando antes de que se produjera la perturbación. Con un modelo de la Tierra dos mil millones de años atrás descubrí que casi todos los organismos vivos podían ser eliminados sin que ello afectase al clima del planeta. En aquellos tiempos, la Tierra estaba pasando por su «edad de oro», en la que el calor del sol era exactamente el adecuado para la vida y se necesitaba poca o ninguna regulación. Quizá por ello una de las mayores crisis a las que Gaia ha tenido que enfrentarse durante su existencia, la consolidación del oxígeno como gas atmosférico dominante, no tuvo consecuencias letales. Sucedió cuando el clima del sistema solar era benigno. Al principio, hace más de tres mil millones de años, el sol era demasiado frío. Ahora es demasiado caliente.

La aparición del oxígeno fue un acontecimiento tan importante para la existencia de Gaia como la pubertad para los humanos. Impulsó la evolución de células vivas más complejas, las eucariotas, y, con el tiempo, llevó a los inmensos conglomerados de células que son las plantas y los animales. Igual de importante es que permitió a la Tierra mantener sus océanos actuando como barrera frente al escape de hidrógeno al espacio. En los más de mil millones de años que siguieron a la aparición del oxígeno, la evolución de la vida en la Tierra pasó por una edad oscura de la que no queda casi ningún rastro. En ese período, la era Proterozoica, sólo había organismos unicelulares, y no dejaron fósiles.

Nuestra visión del pasado de la Tierra es como la que se tie-

ne de un paisaje desde la cima de una montaña. Aparte de otros picos nevados, grandes bosques y algún lago, más allá de un kilómetro y medio no podemos discernir nada con detalle. La historia de las islas Británicas en las edades glaciares del Pleistoceno está dentro del radio que alcanza nuestro discernimiento. Durante los breves períodos templados interglaciales parece que los árboles se extendieron de costa a costa formando un ecosistema forestal templado, pequeño comparado con las grandes selvas tropicales actuales pero que, como éstas, contenía una gran variedad de especies. La alfombra de árboles cubría prácticamente todo el territorio, incluidas las regiones montañosas que hoy están desiertas; de hecho, mucho de lo que hoy son páramos era entonces un denso bosque, apenas interrumpido por los pocos claros y senderos creados por los herbívoros. Un pájaro que volase sobre las islas Británicas hubiera contemplado un bosque cerrado que se extendía hasta donde abarcaba la vista; un paisaje parecido al que hoy vemos en las fotografías aéreas de la Amazonia.

Me parece destacable que ese bosque se alternara más de veinte veces con períodos mucho más largos de tundra y glaciares que, vistos desde el cielo, debían de parecer los de la actual Groenlandia. Los largos períodos glaciales mataban a los árboles y casi esterilizaban la tierra, pero tan pronto como el clima mejoraba, durante los breves períodos interglaciales, la vida retornaba prácticamente en la misma forma en que había proliferado anteriormente. Las extremidades congeladas de la Tierra se curaban bien en cuanto llegaba un clima más cálido.

Como geofisiólogo, interpreto esa alternancia de eras frías y cálidas como una serie de experimentos. Árboles y demás plantas crecían en la templada aunque estéril tierra que los glaciares dejaban libre al retirarse. Y entonces proliferaban hasta formar un enorme y continuo bosque. Luego, la región experimental era sometida al frío intenso de una glaciación hasta el momento de repetir. En las sucesivas repeticiones de ese experimento que

realizó la Tierra, los resultados variaron muy poco en términos globales, aunque un botánico, por ejemplo, notaría cambios en las especies presentes: a veces habría básicamente robles mientras que en períodos más fríos predominarían alisos, abedules y coníferas.

Sospecho, aunque no puedo demostrarlo, que la biodiversidad —es decir, el número de especies distintas en una zona determinada— también debió de variar. Las etapas de clima estable que duran miles de años tienden a reducir la biodiversidad, pero cuando el clima experimenta una subida o bajada de temperatura, aunque sea suave, la primera respuesta de la naturaleza es un aumento de la biodiversidad. Este fenómeno se explica porque las nuevas condiciones ofrecen a las especies más raras una oportunidad de prosperar en un período en que las ya establecidas todavía no han empezado a decaer. Cuando el clima se vuelve a estabilizar, los últimos supervivientes del anterior régimen van muriendo, y la biodiversidad vuelve a disminuir. Por supuesto, la biodiversidad desciende prácticamente a cero en el empobrecido medio ambiente de la glaciación, pero es importante recordar que la biodiversidad y la calidad del medio ambiente no son directamente proporcionales.

Un médico planetario contemplaría la biodiversidad como un síntoma, como una respuesta al cambio. Vería que lo que en un estadio es una especie rara, en otro se convierte en común. Así pues, una gran biodiversidad no es necesariamente algo altamente deseable y que deba ser protegido a toda costa. Igual que respondemos físicamente al exceso de calor con el enrojecimiento de la piel y la transpiración, la biodiversidad de las selvas tropicales de la Amazonia quizá sea la respuesta de la Tierra al calor de la actual era interglacial. No deberíamos plantearnos como objetivo a largo plazo conservar ese estado, pues lo natural es que evolucione hacia un sistema más estable. Sospecho que la capacidad de aumentar la biodiversidad se ha desarrollado porque, en el mundo real de Gaia, el cambio es constante, y suele ser provo-

cado desde fuera por pequeñas variaciones en la mecánica del sistema solar y en la cantidad de energía que nos llega del sol. Cuando se produce un cambio climático, las posibilidades de prosperar de las semillas en hibernación, de las plantas raras o de las semillas que arrastra el viento o los pájaros llevan en sus patas empeoran o mejoran; si mejoran, florecen y compiten con las especies nativas hasta que se convierten en una parte estable del ecosistema. Durante el período en que compiten, la biodiversidad aumenta, sólo para descender luego, cuando el ecosistema se adapta a las nuevas condiciones.

Nos preocupamos tanto por el destino del árbol raro de turno —especialmente si éste produce una sustancia que quizá podría curar el cáncer— y por lo que será de los animales y pájaros raros y bonitos que esas pocas piezas de museo no nos dejan ver el bosque. Pero la respuesta automática de Gaia a los cambios adversos surge a partir de los cambios que se producen en el ecosistema del bosque como un todo, no por la presencia o desaparición de especies poco habituales. Los nichos que crean las extinciones no permanecen vacíos. Como buena arrendataria, Gaia consigue rápidamente nuevos inquilinos. El alquiler, es decir, el intercambio de elementos, lo mismo pueden pagarlo las plantas aburridas y abundantes como las raras y poco habituales, igual que sucede en el ecosistema humano de Londres, que tiene sus representantes más exóticos en los barrios de Hampstead, Notting Hill e Islington.

Pero ¿qué sucede cuando las glaciaciones se intensifican y el hielo penetra en el suelo y destruye prácticamente toda forma de vida? ¿Por qué Gaia no hace frente a ese cambio adverso? La respuesta a esta pregunta, en mi opinión, debe darse desde un punto de vista planetario a largo plazo. Con el paso de los eones, el sol se ha vuelto implacablemente más caliente. Es la tendencia de los hornos nucleares que alimentan las estrellas: conforme envejecen, aumentan su emisión de calor hasta que al final mueren en un estallido de fuego. Para mantener un clima constante, el

sistema de la Tierra ha desarrollado varios mecanismos de aire acondicionado. La vegetación que crece sobre la tierra y la que flota en el mar utilizan dióxido de carbono que toman del aire, con lo que reducen la presencia de ese gas y su efecto invernadero. Otro mecanismo es la producción por parte de algunos organismos marinos de gases que, al oxidarse en el aire, crean minúsculas partículas conocidas como núcleos de condensación, sin las cuales el agua no se condensaría en el aire formando las pequeñas gotas que componen las nubes. Y sin nubes, la Tierra sería mucho más cálida.

El período en el que nos encontramos en estos momentos está acercando a Gaia a un punto de crisis. El sol es más cálido de lo deseable, pero en general el sistema ha podido mantener bajo el nivel de dióxido de carbono y producir suficiente hielo y nubes blancas reflectantes como para mantener la Tierra fría y maximizar la ocupación de sus nichos. Para lograrlo, ha tenido que sacrificar las regiones por encima de los 45° de latitud norte y por debajo de los 45° de latitud sur. Para Gaia no ha sido una pérdida tan grande como para los humanos. Esas regiones polares ocupan menos del 30 por ciento de la superficie de la Tierra y su suelo blanco y reflectante ayuda mucho al enfriamiento del planeta.

Durante una edad de hielo hay tanta agua almacenada en los glaciares de las regiones polares que el nivel del mar desciende 120 metros. En consecuencia, del mar emerge una enorme franja de tierra, buena parte de ella en los trópicos; Tim Leton me recordó que la tierra que emergía al bajar el nivel del mar equivale a la superficie cubierta de hielo. La pérdida de productividad en las latitudes templadas y polares se ve más que compensada por el incremento de la vida terrestre en los trópicos y de la vida marítima en unos océanos cuya temperatura ha descendido. Aunque durante una edad de hielo los océanos disminuyen de tamaño, son más productivos, porque el agua fría favorece el crecimiento de los productores primarios, las algas fotosintéti-

cas. Como he mencionado antes, un océano templado es mucho menos productivo que uno frío. Las aguas frías son el equivalente marino de los densos bosques: hierven de vida y contribuyen a mantener la Tierra fría mediante la producción de nubes y la reducción de los niveles de dióxido de carbono.

Senectud y muerte de Gaia

El sistema solar extrae su energía del sol. Ese gran horno nuclear lleva funcionando más de cuatro mil quinientos millones de años y seguirá funcionando durante otros cinco mil millones más o menos, hasta que se agoten el hidrógeno y el helio que utiliza como combustible. Aunque a largo plazo el sol no es una fuente de energía renovable, en términos humanos podemos considerarlo así. El sol es un productor fiable y continuo de luz y calor. Aporta 1,35 kilovatios de energía por cada metro cuadrado de la Tierra que recibe sin impedimentos su luz.

Puesto que el sol se vuelve cada vez más caliente, el calor que recibe hoy la Tierra es mayor que el que le llegaba cuando empezó la vida, hace más de tres mil millones de años. Aun así la mayoría de libros de texto y programas de televisión le dirán que la Tierra es un planeta que tuvo la suerte de estar exactamente a la distancia adecuada del sol como para que pudiera surgir en él la vida. Esta afirmación pre-Gaia es errónea. Sólo durante un breve período de la historia de la Tierra el calor del sol ha sido el ideal para la vida, y eso sucedió, como hemos visto, hace dos mil millones de años. Antes de ese momento, el calor del sol era demasiado escaso y después ha ido aumentando progresivamente hasta volverse demasiado fuerte. A largo plazo, el calor del sol será una amenaza mucho mayor para la vida que el calentamiento global.

En aproximadamente mil millones de años, mucho antes de que el sol muera, el calor recibido por la Tierra será de más de

2 kilovatios por metro cuadrado, que sabemos que es más de lo que Gaia puede aguantar. El planeta morirá por exceso de calor. Gaia regula su temperatura a un nivel cercano al óptimo para el tipo de vida que la habita en cada momento. Pero, como la mayoría de sistemas reguladores con un objetivo, tiende a excederse, y se pasa por el extremo contrario de lo que debe regular. Si el calor del sol es demasiado débil, la Tierra será más cálida de lo ideal; si llega demasiado calor del sol, como ahora, se regulará para alcanzar más frío que el ideal. Yo creo que la reciente serie de glaciaciones del Pleistoceno fueron un último y desesperado intento del sistema Tierra para responder a las necesidades de las formas de vida actuales. El sol calienta ya demasiado. El bajo nivel de dióxido de carbono nos da una idea de los problemas a los que se enfrenta Gaia durante una edad de hielo; la vida planetaria reduce el nivel de dióxido de carbono del aire hasta alcanzar niveles tan bajos como 180 ppm. Eso es la mitad de lo que hay ahora en la atmósfera, o demasiado poco para que algunas especies vegetales puedan prosperar. Michael Whitfield y yo calculamos en 1981 que, en menos de cien millones de años, el sol dará demasiado calor como para que la Tierra pueda regularse en su estado actual, por lo que se verá forzada a pasar a un nuevo estado cálido habitado por una biosfera distinta. Los breves períodos interglaciares como el actual son, en mi opinión, ejemplos de fallos transitorios de una regulación tipo edad de hielo. Jim Kasting y Ken Caldiera en 1992 y Tim Lenton y Werner von Bloh en 2001 retomaron estas ideas y las ampliaron.

Visto a largo plazo y a escala global, es obvio que nuestra constante adición a la atmósfera de dióxido de carbono, que pronto doblará su presencia, desestabiliza peligrosamente a un sistema Tierra al que ya le costaba mucho mantener la temperatura deseada. Al liberar gases de efecto invernadero en el aire y reemplazar los ecosistemas naturales, como los bosques, por cultivos y granjas, estamos golpeando doblemente a la Tierra. Por un lado, interferimos con la regulación de la temperatura aumen-

tando el calor y por otro lado la privamos de los sistemas naturales que le permiten enfriarse. Lo que estamos haciendo se parece increíblemente a la serie de insensateces que llevaron al accidente del reactor nuclear de Chernobyl. Allí, los ingenieros subieron la temperatura del reactor después de haber desactivado los sistemas de seguridad. No es sorprendente que el reactor se sobrecalentara e incendiara.

Los climatólogos creen que estamos peligrosamente cerca del umbral a partir del cual se desencadena el cambio adverso; un cambio que, hablando en términos humanos, es irreversible. La Tierra no se incendia, pero se vuelve lo bastante cálida como para fundir la mayor parte del hielo de Groenlandia y también del hielo de la Antártida Occidental. Ello añadirá a los océanos tanta agua que el nivel del mar subirá catorce metros. Es impresionante pensar que la mayoría de los actuales grandes núcleos de población quedarán por debajo del nivel del mar en lo que, en términos geológicos, apenas es un instante en la vida de la Tierra.

Antes de concluir esta descripción de Gaia, hay que recordar que es muy anciana y no le queda mucho de vida. En términos de Gaia, el sol pronto será demasiado cálido para los animales y las plantas y para la mayor parte de las formas microscópicas de vida. Creo poco probable que las bacterias resistentes al calor, los termófilos que vivirán en los oasis de un mundo desierto, sean lo bastante abundantes como para llegar a la masa crítica de seres vivientes que Gaia necesita. Es también poco probable que el tipo de Tierra que hoy conocemos dure siquiera una fracción de esos mil millones de años. El daño creado por el impacto de un meteorito o incluso por una futura civilización industrial puede llevar a Gaia, primero a uno de sus estados más cálidos y temporalmente estables y luego a un colapso total.

Hacerse viejo no es tan malo como a veces se cree. Cuando yo era un adolescente, creía que a mi edad actual sería un hombre débil, deprimido e incluso medio tonto. Algunas, pero no todas,

de esas premoniciones se han cumplido, y aunque puedo caminar y subir una pequeña colina a unos seis kilómetros por hora, ya no puedo caminar a esa velocidad por terreno montañoso. Pero sin embargo he aprendido que la vida empieza de nuevo con cada década. Ciertamente, para mí así ha sido de los veinte años en adelante. Igual que pasa con las mariposas, los largos años como larva y luego como crisálida han quedado atrás, y, como la poeta Edna St Vincent Millay dijo:

*Mi vela arde por los dos cabos;
no durará toda la noche;
pero ah, mis enemigos y oh, mis amigos,
da una luz maravillosa.*

Lo mismo sucede con Gaia. Los primeros eones de su vida fueron bacterianos y sólo en el equivalente del final de su edad madura surgió la primera metafauna y metaflora. Tuvo que esperar a tener más de ochenta años para que apareciera el primer animal inteligente en el planeta. Sean cuales sean nuestros errores, sin duda hemos alegrado la vejez de Gaia haciendo que pudiera verse a sí misma desde el espacio en su totalidad como planeta cuando todavía era bella. Por desgracia, somos una especie con tendencias esquizoides, y como haría una anciana que debiera compartir su casa con un grupo de adolescentes vandálicos, Gaia se enfadará y, si no dejamos de comportarnos como gamberros, acabará por echarnos de su casa.

Parte meteorológico para el siglo XXI

Michael Crichton afirma que la previsión del tiempo a largo plazo es imposible debido a las matemáticas del caos[†] que dominan los sistemas meteorológicos. La mayoría de los meteorólogos profesionales estarían de acuerdo con él, pero se equivocan al creer que la previsión del tiempo y la previsión del clima son lo mismo.

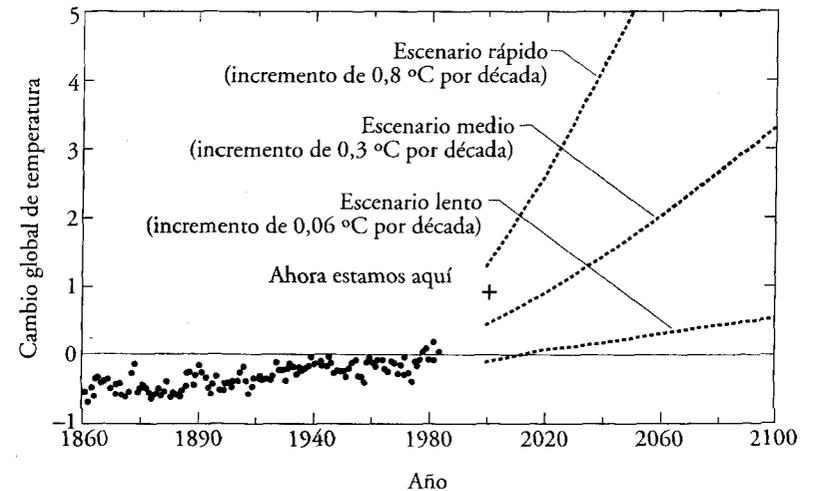
Los climas futuros son mucho más predecibles que la meteorología futura. No hay forma de saber con seguridad si lloverá o no el 2 de noviembre de 2010 en Berlín, pero sí podemos afirmar con una seguridad casi absoluta que en Berlín hará más frío el próximo enero que el que hizo en julio pasado. El cambio climático es susceptible de previsión y por eso tantos científicos están razonablemente convencidos de que un ascenso del nivel del dióxido de carbono a 500 ppm, ascenso que ya es inevitable, irá acompañado de un profundo cambio climático. Ese convencimiento procede del conocimiento de la historia pasada y de los muchos períodos glaciales e interglaciales de los últimos dos millones de años. El registro obtenido del análisis de las capas de hielo antártico muestra una estrecha correlación entre temperatura global y nivel de dióxido de carbono y metano.

Si alguno de nosotros quiere conocer las condiciones sociales de la Inglaterra victoriana acudimos a Dickens, Trollope y de-

más novelistas de la época. Hablamos de sus escritos como si fueran una narración histórica fidedigna. Por eso me tomo muy en serio la opinión de Michael Crichton, no porque sea cierta sino porque es un narrador excelente que, de hecho, ha escrito alguna de mis novelas favoritas (su mezcla de historia medieval y teoría cuántica en *Time Line*, por ejemplo, es de lo mejor en ciencia ficción). Es mucho más probable que al público le influyan escritores como Michael Crichton que los científicos. Pero los novelistas y los productores de cine deberían preguntarse si están seguros de que lo que dicen es cierto antes de sucumbir al todopoderoso imperativo de la trama. Esta cuestión, ahora que nos enfrentamos a un cambio vital, es más importante que nunca.

La fuente más fiable de información y previsiones climáticas sobre los próximos cien años es el Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC). El IPCC publicó su tercer informe en 2001. El siguiente se espera en 2007. Sir John Houghton, ex director de la Oficina de Servicios Meteorológicos del Reino Unido, fue uno de los miembros del consejo del IPCC y su libro *Global Warming*, del que se publicó la tercera edición en 2004, aporta la narración más actualizada y asequible del estado de la cuestión en este campo científico que avanza tan rápidamente. Resulta revelador consultar las predicciones climáticas hechas a finales de la década de 1980. A continuación, tomado de un libro publicado en 1989 por Stephen Schneider y titulado también *Global Warming*, reproduzco un cuadro que ilustra las predicciones de los científicos especialistas en el clima en una conferencia en 1987 (cuadro 2). A partir del limitado conocimiento de que disponían entonces, se esforzaron por realizar unas previsiones lo más precisas posible. En el gráfico esas previsiones aparecen como líneas de puntos. La línea de puntos superior muestra un escenario que consideraban casi imposible por demasiado catastrofista. La cruz que yo he añadido al gráfico muestra el punto en el que nos encontramos ahora: muy próxi-

CUADRO 2
Predicciones climáticas realizadas en 1988



mo al cambio de temperatura extremo que tanto angustiaba a aquellos pioneros.

Las previsiones climáticas están basadas en su mayoría en modelos matemáticos de la Tierra que en principio se usaron para predecir el tiempo que haría al día siguiente o al otro. Esos modelos meteorológicos dividen la atmósfera en pequeñas parcelas y calculan por separado y en conjunto los cambios probables en cada una de ellas. Para realizar estos cálculos de prisa y bien hace falta un ordenador potente. Los ordenadores han avanzado tanto, que incluso los computadores domésticos son capaces de realizar los cálculos necesarios para un modelo modesto de estas características. Cuando se trata de previsiones climáticas, no basta con considerar las leyes físicas de la atmósfera. Hay que tener también en cuenta el modo en que los océanos almacenan calor y dióxido de carbono y la dinámica de sus intercambios con la atmósfera. Además, debemos conocer la naturaleza de la superficie terrestre pues, por ejemplo, que esté o no cubierta de nieve supone una enorme diferencia. Hoy sabemos

que los bosques no son áreas pasivas en un mapa con propiedades climáticas fijas, sino que juegan un papel activo en el sistema climático. Lo mismo sucede con la superficie del océano y los organismos que viven en ella. Las nubes y las partículas de polvo suspendidas en el aire también tienen un efecto poderoso sobre el clima. Para tener en cuenta todo el amplio número de variables necesitamos un ordenador muy potente. Por fortuna, en el Hadley Centre, en Exeter, Reino Unido, y en la ciudad científica de Tsukuba, en Japón, cuentan con los simuladores climáticos más grandes del mundo, y los científicos de ambas instituciones colaboran estrechamente. Pero a pesar de la experiencia de los equipos humanos y de los potentes ordenadores de que se dispone, las previsiones son provisionales y no podemos descartar sorpresas. Creemos haber detectado ya algunas de ellas, como el umbral del cambio irreversible, pero aún nos preguntamos si la circulación de corrientes calientes y frías en el Atlántico norte no estará a punto de sufrir un cambio repentino. No estamos mucho mejor preparados para lidiar con lo inesperado de lo que Colón y sus marineros lo estaban cuando partieron hacia el Oeste en busca de las Indias. Su modelo de una Tierra redonda era correcto, pero el planeta les guardaba una enorme e impredecible sorpresa: la existencia del continente americano. Debemos estar preparados para que, en lugar de las previsibles subidas paulatinas y continuas del nivel del mar y de la temperatura, se produzcan discontinuidades súbitas y totalmente imprevistas.²

Tenemos muchos motivos para creer que nuestro viaje al futuro no será apacible, y que existen uno o más umbrales o puntos de inflexión. Jonathon Gregory y sus colegas de la Universidad de Reading afirmaron en 2004 que si la temperatura global asciende más de 2,7 °C, el glaciar de Groenlandia se desestabili-

2. Si quiere disfrutar un rato dedicándose usted mismo a la simulación de climas, no hay mejor modo de hacerlo que con el libro *A Climate Modelling Primer* (2005), de Kendall McGuffie y Ann Henderson-Sellers. El libro incluye un CD con programas de simulación que funcionan en la mayoría de ordenadores personales.

zará y no dejará de derretirse hasta que en su mayor parte se haya fundido, incluso aunque luego las temperaturas volvieran a descender por debajo del punto de inflexión. Dado que la temperatura y la abundancia de dióxido de carbono parecen estar íntimamente relacionadas, ese umbral puede expresarse en términos de cualquiera de las dos medidas. Los científicos Richard Betts y Peter Cox, del Hadley Centre, concluyeron que un aumento global de la temperatura de 4 °C bastaría para desestabilizar las selvas tropicales y provocar que, igual que el hielo de Groenlandia, desaparezcan y sean reemplazadas por matorrales o desiertos. Si es así, la Tierra perderá otro de sus mecanismos de enfriamiento y se acelerará todavía más el ascenso de la temperatura. En el capítulo 1 he descrito un modelo simple en el que la parte sensible del sistema Tierra era el océano, cuya superficie habitable por las algas, al calentarse, disminuía y se desplazaba cada vez más hacia los polos hasta que al fin el crecimiento de algas desaparecía. La discontinuidad se produce porque las algas cumplen en el océano la doble función de consumir dióxido de carbono y producir nubes. (Las algas que flotan en el océano toman el dióxido de carbono del aire y lo utilizan para crecer. Llamamos a este proceso «consumo» para distinguirlo de la disminución pasiva y reversible de dióxido de carbono en la atmósfera mediante su disolución en la lluvia o en el agua marina.) El umbral que marca la desestabilización de las algas se encuentra alrededor de 500 partes por millón (ppm) de dióxido de carbono, más o menos el mismo nivel que desencadenaría el deshielo irreversible de Groenlandia. Si seguimos con la tendencia actual, alcanzaremos las 500 ppm en unos cuarenta años. El proceso de supervisión hoy en marcha de todas esas partes cruciales del sistema Tierra—Groenlandia, la Antártida, la selva amazónica y los océanos Atlántico y Pacífico— muestra una tendencia muy rápida hacia lo que podría ser un cambio irreversible y letal. De hecho, el responsable de la sección científica del periódico *Independent*, Steve Connor, publicó el 16 de septiembre de 2005 las declaracio-

nes de varios climatólogos que afirmaban que el deshielo del Ártico avanzaba tan rápidamente que creían que ya habíamos cruzado el punto de no retorno.

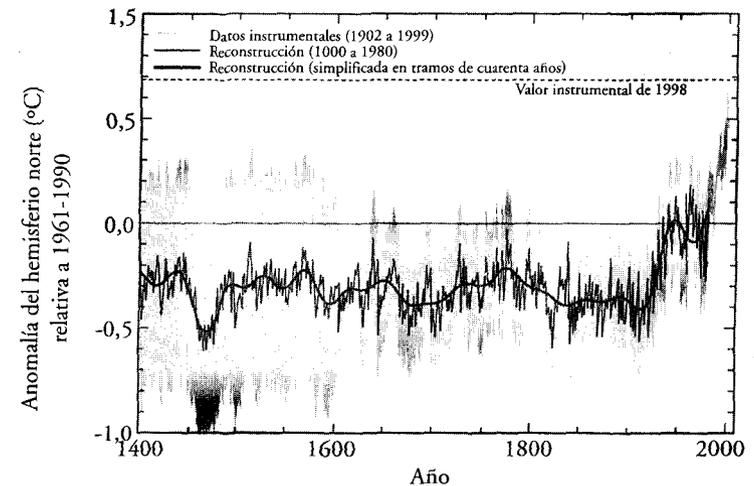
Aunque sea mortal, es probable que, al cruzar ese umbral que hará que el cambio climático sea irreversible, no notemos nada que señale que se ha producido un acontecimiento trascendental, que no haya nada que nos indique que hemos pasado el punto de no retorno. Es algo parecido a las descripciones que algunos científicos han dado de la experiencia de un astronauta que tuviera la desgracia de caer en un enorme agujero negro. El punto de no retorno de un agujero negro se conoce como horizonte de sucesos. Una vez se sobrepasa ese punto, la gravedad es tan fuerte que ni siquiera la luz puede escapar de ella. Lo más chocante es que el astronauta que lo cruzara no se daría cuenta de ello. No hay ningún rito de paso que señale el cruce de un umbral o un horizonte de sucesos.

Desde hace algunos años tengo en la pared sobre mi escritorio un asombroso gráfico que muestra la temperatura del hemisferio norte desde el año 1000 al año 2000. Lo creó el científico norteamericano Michael Mann a partir de una serie de datos obtenidos de los anillos de los árboles, de muestras de capas de hielo y del coral. Parte de la versión que aparece en el informe de 2001 del IPCC está reproducida al lado. En Estados Unidos los más escépticos lo llaman el «palo de hockey», porque se parece a un palo de hockey tirado en el suelo con la parte con la que se golpea la pelota apuntando hacia arriba. Me gusta tenerlo a la vista para reforzar mis argumentos frente a los escépticos del calentamiento global y como recordatorio de lo drástico que ese calentamiento será. El gráfico muestra las fluctuaciones normales de la temperatura y, durante los primeros ochocientos años del milenio pasado, hay una ligera pero perceptible tendencia al descenso que, extrapolada al futuro, apunta a una edad de hielo dentro de

unos diez mil años. Luego, al principio del período industrial, alrededor de 1850, empieza a ascender lentamente, acelerándose ese ascenso cada vez más hasta llegar a temperaturas casi $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ por encima de la media a largo plazo. El aumento de un solo grado en la temperatura puede parecer algo trivial, pero recordemos que estamos contemplando una media sólo de la mitad del mundo, el hemisferio norte. La diferencia entre la media a largo plazo del gráfico y la edad de hielo que se produjo hace 12.000 años es tan sólo de $3\text{ }^{\circ}\text{C}$. El informe de 2001 del IPCC sugiere que la línea del gráfico del palo de hockey puede ascender otros $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante el presente siglo. Eso es casi el doble de lo que cambió la temperatura entre la edad de hielo y la época preindustrial.

CUADRO 3

El gráfico «palo de hockey»



Aproximadamente cada 25.000 años la posición y la inclinación de la Tierra respecto al sol cambian de modo que hay un pequeño aumento en el calor total que recibe el planeta. Cada tres de esos ciclos de calor extra, Gaia ha alcanzado su menor temperatura y su menor nivel de dióxido de carbono en la atmósfera:

se trata de un período sensible en el que el calor extra es más del que el planeta puede asumir y el sistema regulador se derrumba. Gaia entra entonces en un estado inestable denominado interglacial, el equivalente a la fiebre en un humano. Ése es el estado actual de la Tierra.

O bien hemos olvidado o bien nunca hemos sabido lo diferente que era el clima en la última edad de hielo. La mayor parte del Reino Unido y del norte de Europa occidental, incluida Escandinavia, estaban enterrados bajo tres mil metros de hielo, un glaciar tan profundo como lo es hoy el de Groenlandia. América del Norte estaba igualmente congelada hasta la altura de St Louis, en los 35° de latitud norte. A pesar de todo ese hielo, se trataba de un mundo más saludable que el actual y en el que había más vegetación, tanto en la tierra como en el mar. Creemos que es así porque el nivel de dióxido de carbono en el aire estaba entonces por debajo de las 200 ppm. Hace falta mucha vida para rebajarlo hasta ese punto.

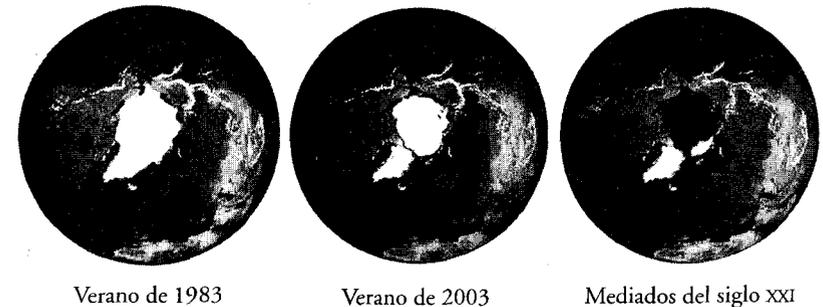
El nivel del mar estaba 120 metros más bajo que hoy y una área tan grande como África, ahora sumergida, quedaba por encima del nivel del mar. Mucha de esta tierra extra emergió en el Sudeste asiático, lo que ayudaría a explicar cómo llegaron los humanos a Australia durante la edad de hielo: la distancia era lo bastante pequeña como para salvarla a bordo de balsas o barcos rudimentarios. Imagine que hace 12.000 años hubiera habido una civilización con ciudades en la costa de esa parte del continente asiático. ¿Hubieran sus ciudadanos creído a un antiguo hombre del tiempo que les hubiera dicho que pronto se encontrarían todos 120 metros bajo el agua?

Los cambios a los que es probable que se enfrente el mundo son, aunque de forma distinta, tan importantes o más que ése. Es cierto que el nivel del mar no puede subir más que otros ochenta metros, que es el impacto que tendría el deshielo de Groenlandia y la Antártida. Pero las condiciones de abrasador calor que afectarían a todo el planeta reducirían la productividad

tanto de la tierra restante como de los océanos, y la pérdida de vegetación reduciría el ritmo de consumo de dióxido de carbono, lo que contribuiría a mantener esa edad cálida durante cien mil años o más. Los cambios más notables que se han podido observar hasta la fecha han tenido lugar en el Ártico, como se predijo en el primer informe del IPCC en 1990. Abajo pueden verse fotografías por satélite de la cuenca ártica en 1987, 2003 y una estimación de lo que puede suceder entre 2030 y 2050.

CUADRO 4

Progresiva reducción del área de hielo flotante en verano



El hielo flotante del Ártico cubre una área tan grande como Estados Unidos y es hogar de osos polares y otras especies; es también el punto de destino de los valientes exploradores que atraviesan el Polo Norte a pie. Pero mucho más importante que todo eso es que sirve como reflector blanco de la luz del sol durante el verano y ayuda a mantener el mundo frío. Cuando ese hielo se derrita, cosa que puede suceder muy pronto, quizá podamos llegar al Polo Norte en barco, pero habremos perdido la capacidad de enfriamiento que tenía el hielo ártico. El océano oscuro que lo reemplazará absorberá el calor del sol y, conforme se caliente, contribuirá a acelerar el deshielo de Groenlandia.

Pero aunque Gaia sufra por el deshielo del Ártico y de Groenlandia, esas áreas pueden convertirse en los futuros centros de una

civilización más pequeña y adecuada al medio. Las compañías navieras están investigando ya nuevas rutas a través del Ártico. El paso del Noroeste, durante tanto tiempo bloqueado por el hielo, pronto estará abierto; los páramos de tundra de Siberia y el norte de Canadá que queden sobre el nivel del mar verán cómo prolifera la vida vegetal, y el ampliado océano Ártico, lleno de algas, podría convertirse en el caladero de pesca del futuro.

Otro cambio probable debatido a menudo por los climatólogos se refiere a las grandes corrientes que mueven las aguas de los océanos del mundo. El distinguido científico norteamericano Wally Broecker fue el primero en advertirnos de que las corrientes que atraviesan el Atlántico norte dependen de la presencia de condiciones árticas cerca de Groenlandia. Las aguas que fluyen hacia el norte por la superficie del Atlántico son templadas y se vuelven más saladas debido a la evaporación; el agua salada es más densa que la dulce y se hundiría de no ser porque las aguas de debajo de ella son más frías y densas todavía. Cuando esta agua salada densa y templada se enfría al entrar en contacto con el hielo ártico, se hunde allí hasta el fondo del océano. Ese hundimiento es la fuerza motriz que pone en marcha las corrientes y hace que el agua salada templada que avanza hacia el noreste por el Atlántico, lo que conocemos como Corriente del Golfo, no se detenga. Broecker advirtió que si cesara el hundimiento de agua salada, el norte de Europa ya no recibiría los beneficios de esa corriente de agua templada. La tendencia más sensacionalista a menudo prefigura eso como una vuelta a condiciones árticas de Europa y la Costa Este de América del Norte. Pero para cuando eso suceda, el hielo del Ártico estará en proceso de extinción. Una posibilidad que no podemos dejar de considerar es que el clima de las islas Británicas y Europa occidental, que es hoy 8 °C más cálido que el de las mismas latitudes en otras partes del mundo, quizá permanecería inalterable a pesar del calentamiento global, puesto que los 8 °C que se perderían al desaparecer la corriente del Golfo serían más o menos la misma cantidad de

grados que se predice que subirá la temperatura a causa del calentamiento global. Ojalá fuera así aunque, en ese caso, todavía tendríamos que enfrentarnos a la pérdida de tierra que la subida del nivel del mar comportaría.

Cuando hablamos de cambio climático, pensamos más en la temperatura que en los cambios en otras características del medio físico. Kangsheng Wu se ha dedicado a estudiar el equilibrio del agua dulce del planeta y ha descubierto que se está produciendo un incremento persistente del flujo de agua dulce a los océanos, particularmente en la cuenca ártica. El enfriamiento de esas aguas en el norte podría alterar el curso de la corriente del Golfo. De forma similar, el aumento del calor podría expandir las células de Hadley y así provocar un desplazamiento de los vientos alisios y de las zonas de viento occidentales a áreas más cercanas a los polos. Seguramente se producirán cambios en estas otras propiedades del clima conforme la Tierra se caliente. Los planificadores de grandes proyectos de energías renovables que se sirvan del viento o del poder hidráulico no deben perder de vista que las inversiones en ellas pueden acabar demostrándose errores carísimos.

Aunque no podemos regresar al nostálgicamente bello mundo de 1800, que sólo tenía mil millones de habitantes, puede que sí podamos hacer algo para paliar las consecuencias del calentamiento global. Aun después de haber cruzado el punto de no retorno, las naciones del mundo pueden reducir los daños deteniendo las emisiones de metano y dióxido de carbono. Con ello se ralentizaría el aumento de temperatura y del nivel del mar y tendríamos más tiempo antes de que se alcanzara el nuevo estado cálido estable. Pero incluso en ese caso, el daño que ya hemos causado a la Tierra sigue siendo enorme. En un capítulo posterior comentaré propuestas de utilización de parasoles terrestres o espaciales para enfriar el planeta hasta que la tempera-

tura vuelva a un nivel preindustrial. Si eso funcionara, habríamos asumido la sobrecogedora responsabilidad de dirigir el clima de la Tierra, algo que hasta ahora ha hecho Gaia, y aun así seguiríamos teniendo que reducir la cantidad de dióxido de carbono del aire para evitar la desaparición de la vida marina.

Recientemente, la BBC emitió en su serie *Horizon* de programas científicos un reportaje sobre el «oscurecimiento global». En éste, científicos dedicados al clima, entre ellos V. Ramanathan y Peter Cox, expresaron su preocupación por la posibilidad de que en cierto sentido, hubiéramos sobrepasado ya el punto de no retorno en cuanto al calentamiento global. Los datos científicos que sustentaban estas afirmaciones aparecieron en un artículo de *Nature* de 2005 entre cuyos autores estaba el distinguido científico alemán M. O. Andreae. La civilización industrial ha lanzado a la atmósfera, además de los gases de efecto invernadero, una gran cantidad de partículas de aerosoles. Esas pequeñas motas que flotan en el aire reflejan la luz del sol y, al hacerlo, enfrían la atmósfera. En grandes regiones de la superficie de la Tierra, la bruma formada por los aerosoles refleja la luz del sol y la devuelve al espacio en cantidades suficientes como para contrarrestar el calentamiento global. Estos aerosoles, por sí solos, provocan un enfriamiento global de entre 2 y 3 °C. En la década de 1960, cuando sabíamos mucho menos de la Tierra y de su atmósfera de lo que sabemos hoy, unos pocos científicos llegaron a especular con que el continuado crecimiento económico incrementaría la densidad de los aerosoles en el aire, lo que provocaría un enfriamiento global que precipitaría la próxima glaciación.

El actual nivel de enfriamiento debido a los aerosoles es real y preocupante, porque puede que eso nos haya permitido seguir como si nada, sin darnos cuenta de hasta qué punto habíamos cambiado la Tierra y sin ser conscientes de que tendremos que pagar con intereses el tiempo que se nos ha prestado. Las partículas de los aerosoles permanecen poco tiempo en la atmósfera: a las pocas semanas caen al suelo. Eso quiere decir que cualquier

gran crisis económica o una reducción planificada del consumo de combustibles fósiles o una legislación irreflexiva para detener de repente las emisiones de azufre —exactamente como la que los europeos están impulsando actualmente para acabar con la lluvia ácida— permitiría la inmediata manifestación del efecto invernadero. Se ha llegado a sugerir que la ola de calor que azotó Europa durante el verano de 2003 fue consecuencia en parte de los esfuerzos de la Unión Europea por eliminar los aerosoles, causa de la lluvia ácida. Peter Cox plantea que, al no tener en cuenta los modelos climáticos existentes el papel de los aerosoles, pueden haber subestimado la sensibilidad del planeta a los gases invernadero y no reflejar que, en realidad, tal vez ya hayamos cruzado el punto de no retorno.

Las predicciones de cambio climático no se basan sólo en modelos teóricos construidos mediante simulaciones informáticas de la Tierra. Actualmente hay en curso una serie de mediciones y controles climáticos por todo el mundo. La temperatura del aire y del océano se mide de manera constante, igual que los gases de la atmósfera, la capa de nubes, el hielo flotante, los glaciares y la salud de los ecosistemas terrestres y marítimos. Los resultados que ofrecen los modelos informáticos se contrastan continuamente con las observaciones que se llevan a cabo en el mundo real. Los satélites que orbitan la Tierra supervisan este paisaje en constante cambio. Los instrumentos más sutiles a bordo de esas naves espaciales miden la temperatura del aire y los porcentajes de sus gases en distintos niveles. También comprueban la salud de los ecosistemas. A menudo pienso que uno de los grandes logros del programa espacial es lo mucho que nos ha revelado sobre la Tierra.

Otra fuente de información importante sobre las causas del cambio climático son los registros geológicos a largo plazo. Hemos aprendido mucho sobre la historia del clima y sobre la composición de la atmósfera de la Tierra analizando hielo extraído de las profundidades de Groenlandia y de los glaciares de la Antár-

tida. La nieve que cae sobre los glaciares lleva aire en los minúsculos espacios que hay entre los cristales que la forman. Cada copo de nieve entierra a su predecesor, de modo que el aire queda encerrado en pequeñas burbujas herméticas hechas de hielo. Gracias a ellas, han podido obtenerse datos ininterrumpidos sobre la atmósfera que se remontan a hace un millón de años. Las burbujas atrapadas en el hielo de las muestras extraídas perforando en los glaciares, nos han facilitado datos sobre atmósferas del pasado. Del análisis de estas muestras podemos deducir la composición de aquellas antiguas atmósferas. Gracias a este enorme banco de datos hoy tenemos un registro no sólo de los principales gases, oxígeno y nitrógeno, sino también del dióxido de carbono y del metano. Podemos calcular además, a partir de la composición isotópica del oxígeno y el hidrógeno, la temperatura de la Tierra cuando el aire quedó atrapado. Proporciona también buenos indicadores para averiguar la antigüedad del aire que se está analizando. En este gran almacén de información hemos hallado pruebas que demuestran que la temperatura y el nivel de dióxido de carbono del aire guardan correlación. Sabemos que en el período más frío de la última glaciación el dióxido de carbono descendió a 180 ppm, se elevó a 280 ppm cuando terminó la edad de hielo y ha alcanzado en la actualidad 380 ppm a causa de la contaminación. Ya hemos provocado en la atmósfera un cambio tan grande como el que se produjo entre las glaciaciones y los períodos interglaciales. Si el nivel se mantiene en 380 ppm es de esperar que se produzca el consiguiente aumento de temperatura, pero lo más probable es que continuemos contaminando y lo elevemos a 500 ppm o más.³

3. Durante una visita al laboratorio del British Antarctic Survey, en Cambridge, mi esposa Sandy y yo tuvimos el privilegio de ver muestras de hielo antártico en las que había burbujas que encerraban atmósferas del pasado, y oír las crujir y estallar conforme el hielo se derretía. Debemos sentirnos orgullosos de contar con el British Antarctic Survey, bajo la extraordinaria dirección del profesor Chris Rapley, como vigilantes de la patología que está incapacitando a Gaia.

Remontándonos en el tiempo, ha habido épocas calientes similares a la que creemos que está a punto de llegar ahora. La más reciente fue hace cincuenta y cinco millones de años, al principio del período geológico conocido como Eoceno, y ha sido objeto de diversos artículos del profesor Harry Elderfield, de la Universidad de Cambridge. Fue, de algún modo, similar a nuestra contaminación actual del aire y se debió a la liberación de entre 0,3 y 3 teratoneladas de carbono fósil (una teratonelada es un millón de millones de toneladas). Todavía se debate cuál fue el origen de esa gigantesca emisión de carbono gaseoso: puede que procediera de los depósitos de metano (gas natural) en forma de cristales de hielo que se encuentran en el fondo del océano, conocidos como clatratos, o puede que surgiera de los ricos depósitos de carbono del Atlántico norte al ser calentados por un volcán subterráneo.⁴

Actualmente, la quema de combustibles fósiles y la agricultura han liberado aproximadamente media teratonelada de carbón, una cantidad que entra ya dentro del rango estimado para el calentamiento del Eoceno. Pero hay diferencias entre la catástrofe del Eoceno y la contaminación actual; por ejemplo, entonces el gas que entró en el aire fue sobre todo metano, no dióxido de carbono como ahora. El profesor Elderfield, basándose en el registro de datos geológicos, sugiere que hace cincuenta y cinco millones de años la temperatura subió 8 °C en las regiones templadas y 5 °C en los trópicos y, teniendo en cuenta que el mundo era un poco más cálido que el actual, un poco menos en los polos; la perturbación duró doscientos mil años. La repentina liberación de metano al principio del período cálido debió de calentar rápidamente la tierra debido a su intensa capacidad

4. Una descripción de este hipotético acontecimiento aparece en un artículo del científico noruego Henrik Svensen y colegas (*Nature*, 5 de junio de 2004).

de absorción de infrarrojos, pero tuvo que oxidarse en el aire y convertirse en dióxido de carbono y vapor de agua, de modo que debió de ser el dióxido de carbono el que mantuvo el calor durante un período de tiempo tan dilatado. El proceso por el cual el dióxido de carbono reacciona con el silicato de calcio de las rocas se conoce como «erosión química de las rocas». Es lento y se tarda unos cien mil años en eliminar por ese proceso el 63 por ciento del gas. Sabemos ahora por la teoría de Gaia que la existencia de vida en la superficie de la tierra y en el suelo acelera activamente la erosión de las rocas. Durante la época cálida del Eoceno las superficies de la tierra y los océanos estaban yermas, y quizá por eso el exceso de dióxido de carbono se mantuvo en la atmósfera tanto tiempo. Por otra parte, la Tierra no se enfrió porque otros mecanismos biológicos de enfriamiento que funcionan cuando la Tierra goza de buena salud fallaron durante el período cálido del Eoceno. Si las condiciones son ahora equivalentes a las de las emisiones del Eoceno, debemos prepararnos para un período cálido tanto o más largo que una edad de hielo. Aunque las circunstancias iniciales del Eoceno se parezcan a las que se dan hoy en la Tierra, hay dos diferencias capitales: el sol es ahora un 0,5 por ciento más potente de lo que lo era hace cincuenta y cinco millones de años, lo que equivale a un aumento de temperatura global de aproximadamente 0,5 °C; y hemos cambiado más o menos la mitad de la superficie de la Tierra de sus bosques naturales a cultivos, páramos y desiertos y, en consecuencia, hemos reducido la capacidad del planeta de regularse a sí mismo. Hoy hay, además del dióxido de carbono y el metano, muchos otros gases invernadero cuya presencia en el aire contribuye al calentamiento global; entre éstos se cuentan los clorofluorocarbonos (CFC), el óxido nitroso y otros productos de la agricultura y la industria.

La Tierra se ha recuperado de fiebres como ésta y no tiene fundamento sostener que lo que estamos haciendo destruirá a Gaia, pero si continuamos como si nada, puede que nuestra es-

pecie nunca vuelva a disfrutar del mundo exuberante y verde que existió hace tan sólo cien años. Lo que está gravemente en peligro es la civilización. Los humanos somos lo bastante duros de pelar como para que sobrevivan a la catástrofe las suficientes parejas en edad reproductiva capaces de perpetuar la especie; y Gaia es todavía más resistente que nosotros. Lo que estamos haciendo la debilita, pero es poco probable que la destruya. En sus tres mil millones de años o más de vida ha sobrevivido a muchas catástrofes.

A pesar del calor, todavía habrá zonas de la Tierra en las que será agradable vivir según nuestros estándares: la supervivencia de animales y plantas a lo largo del Eoceno lo confirma. Es posible que las islas Británicas, con su ubicación oceánica y su alta latitud, sean uno de esos refugios, aunque se parecerán más a un archipiélago que a las dos grandes islas que conocemos hoy. Aunque, si estos cambios se producen, es probable que pocos de los bulliciosos miles de millones de seres humanos que hoy pueblan el planeta sobrevivan.

Creo que es necesario señalar que el ascenso continuo de temperatura que muestra el tercer informe del IPCC contempla una media estimada del clima global, pero lo que no recoge son los extremos imprevisibles, como inundaciones o tormentas de gran magnitud. Debemos esperar cambios climáticos de un tipo nunca imaginado, acontecimientos únicos que afecten sólo a una zona. El primero de ellos fue la ola de calor sin precedentes que recorrió Europa en 2003 y durante la cual más de treinta mil personas murieron de hipertermia o golpe de calor. Meteorólogos suizos afirmaron que las posibilidades de que se tratase simplemente de una ola de calor eran una entre trescientas mil.

Las fluctuaciones más lentas, de décadas, también interfieren en nuestras previsiones. En un artículo de julio de 2005 de la revista *Science*, Rowan Sutton y Daniel Hodson, científicos de la Universidad de Reading, hablaban de la existencia de ciclos de calentamiento y enfriamiento en el clima del Atlántico norte du-

rante el siglo xx. Cada uno de estos ciclos duraba décadas, y la ola de calor del verano de 2003 se produjo durante uno de estos períodos cálidos, otro de los cuales tuvo lugar en las décadas de 1960 y 1970. El actual período cálido vino después del clima más fresco de la década de 1980. Variaciones de este tipo se superponen a la curva ascendente del calentamiento global, por lo que debemos ser precavidos y no considerar cualquier ola de calor o frío inesperada como prueba a favor o en contra del calentamiento global.

Entre los escépticos del calentamiento global y los que, como yo, están preocupados por la posibilidad de que se produzca un cambio drástico, se encuentran los climatólogos conservadores, que reconocen que se está dando un calentamiento global pero creen que no es grave. Entre ellos están Tom Wigley, G. A. Meehl y sus colegas, que publicaron artículos en marzo de 2005 en la revista *Science*. Son artículos buenos y bien fundamentados que pronostican un mundo que se irá calentando lentamente unos 2 °C y en el que el nivel del mar se elevará entre 10 y 30 centímetros hacia 2100. En sus cálculos asumen que habrá una reducción drástica de las emisiones. Ojalá tengan razón, pero sigo considerando más probable mi pesimista perspectiva del futuro. El motivo es que hay muchas propiedades clave del sistema de la Tierra que ellos no han incluido en sus cálculos. Por ejemplo:

1) La posibilidad de la desaparición del aerosol creado por el hombre del hemisferio norte. Debido a su escaso tiempo de permanencia en la atmósfera, una crisis económica o cualquier tipo de desastre podría provocar que su nivel se precipitase en picado en pocas semanas, dejando intacto el efecto invernadero.

2) Puede estar dejando de lado que la Tierra está en un estado grave de respuesta positiva. Ello provocaría que la sensibilidad de sus modelos al incremento de gases de efecto invernadero fuera menor de la que esperan.

3) Es posible que no hayan incluido las reacciones de los

bosques naturales y los ecosistemas marinos de algas. Éstas pueden convertir un bosque en una fuente de dióxido de carbono en lugar de un punto de eliminación del mismo, cuando las altas temperaturas provoquen la muerte de la vegetación. Lo mismo pasaría con las algas marinas si los océanos se calientan y se reduce el ritmo de consumo de dióxido de carbono.

4) Demasiado a menudo se asume que los grandes cambios que sobre la superficie terrestre han realizado la agricultura y la silvicultura tienen poca o ninguna influencia en la sensibilidad y resistencia del sistema Tierra. A mí me parece probable que la sustitución de los ecosistemas naturales por tierras de cultivo haya alterado las dinámicas de la respuesta climática.

Durante su existencia, la Tierra ha experimentado muchos regímenes climáticos distintos. Poco después de que empezara la vida, Gaia emergió como sistema regulador; creemos que ello llevó a profundos cambios en la composición atmosférica, que pasó de estar dominada por el dióxido de carbono a estarlo por el metano. Este gas fue químicamente dominante durante mil millones de años, hasta que fue sustituido por el oxígeno, al principio escaso, pero que se incrementó hasta llegar a la proporción que ocupa en el aire que hoy respiramos.

Puesto que la temperatura es tan importante para los organismos vivos, condiciona de forma determinante su distribución en la Tierra. Fotografías de la Tierra tomadas desde el espacio con el objetivo de mostrar la distribución de clorofila, el pigmento verde que los vegetales utilizan para convertir la luz del sol en materia orgánica, son un buen medio para comprender el impacto de la temperatura en la distribución geográfica de la vida. La clorofila es un componente esencial de todos los productores primarios que utilizan la energía del sol para crear alimento a partir de los elementos químicos básicos del océano y de la atmósfera. La distribución de clorofila representa pues la de plantas y algas. También muestra dónde habitan otras formas

de vida que la consumen como alimento de forma directa o indirecta. En el cuadro 5 pueden verse tres globos terráqueos esquemáticos diseñados para ilustrar cómo en la actualidad el continente Antártico y buena parte de la región del Polo Norte están prácticamente vacíos de vida; la mayor parte de los océanos también lo están, excepto las regiones próximas a los continentes y las aguas frías cercanas al Ártico y el Antártico. Los tórridos y secos desiertos de África, Asia, América del norte y Australia parecen a su vez escasamente poblados. La vida se produce en climas templados y húmedos en tierra, y en océanos fríos, de menos de 12 °C.

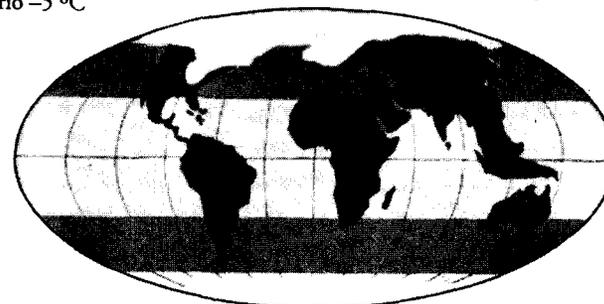
Compare esto con los escenarios imaginarios de los otros dos dibujos: el inferior con una Tierra 5 °C más cálida que hoy, más o menos lo previsto por el IPCC para el fin de este siglo, y el superior con un planeta 5 °C más frío, una temperatura similar a la de la última edad de hielo. Juzgando a partir de la abundancia de vida en uno u otro, parece que a Gaia le gusta el frío, que es por lo que quizá durante la mayor parte de los últimos dos millones de años, y quizá desde hace mucho más tiempo, la Tierra ha permanecido en una edad de hielo. Creo que es importante que comprendamos que una Tierra cálida es una Tierra débil. En el planeta cálido, la vida en los océanos se limita a las orillas de los continentes, y las regiones desiertas de la tierra son enormes.

Lo notable es que la vida en la Tierra haya persistido durante casi cuatro mil millones de años. Se trata de un plazo de tiempo que abarca casi un tercio de la existencia total del universo. Si la vida es tan sensible a la temperatura como muestran nuestros estudios, hay que suponer que la temperatura de la Tierra no ha cambiado mucho desde que la vida existe. Estamos razonablemente seguros de que el sol, como todas las estrellas de su clase, se calienta más conforme envejece, y que es hoy un 25 por ciento más cálido que cuando empezó la vida. Eso equivale a que la temperatura sobre la superficie de la tierra se eleve en 20 °C. Así pues, si, cuando empezó la vida, la Tierra estaba en una edad de

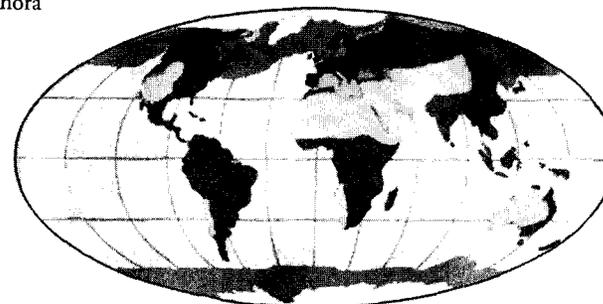
CUADRO 5

La distribución de la vida hoy y en un planeta más frío o más caliente

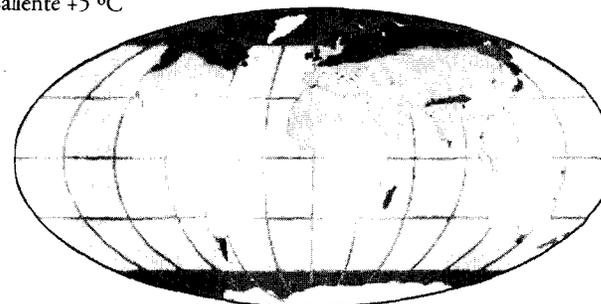
Frío -5 °C



Ahora



Caliente +5 °C



- Tipo de superficie
- Hielo
 - Océano con vida
 - Océano desierto
 - Bosques
 - Páramos y desiertos

hielo a 12 °C, hoy debería estar a 32 °C; o si estaba en una fase templada, digamos 25 °C, cuando empezó la vida, hoy tendría que estar a 45 °C. Todas esas temperaturas están muy por encima de los 12 °C de la glaciación y de nuestra media actual de 16 °C, y muy por encima de los 20 °C que se espera que alcancemos a causa del calentamiento global.

Este capítulo ha tratado sobre todo del cambio climático, pero no olvidemos que hay también grandes y desastrosos cambios en la abundancia de agua dulce, incluidas inundaciones y sequías. Todavía no está claro si el aumento del nivel del mar de los últimos cincuenta años se debe principalmente a la expansión del agua conforme ésta se calienta o al deshielo de los glaciares. El informe de 2001 del IPCC sugería que la expansión era la causa principal del aumento del nivel del mar, pero un artículo publicado en 2004 en *Nature* por científicos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica en Washington y un ensayo de Jim Hansen en *Climate Change* en 2005 sugieren que el aumento del volumen de los océanos se debe al deshielo del agua congelada que había en los continentes. Si Hansen tiene razón, el aumento del nivel del mar, y no el mal tiempo, será pues la amenaza más grave. La reciente devastación causada por los huracanes en el sur de Estados Unidos y especialmente en Nueva Orleans nos recuerda los daños que pueden causar las inundaciones: las lluvias excesivas, los aumentos súbitos y los temporales pueden ser tan perturbadores como una subida lenta y permanente del nivel de los océanos. Todos estos cambios alteran a su vez la distribución de bosques y desiertos y la disponibilidad de tierras de cultivo. Aunque nos queda mucho que aprender, parece probable que, en unos pocos años, cuando la abundancia de dióxido de carbono supere las 500 ppm, entraremos en la fase en la que las temperaturas se elevarán hasta un nuevo estado estable, quizá entre 6 y 8 °C más que hoy. No sabemos si ese nuevo régimen será estable a largo plazo. Y si somos tan insensatos como para intentar cultivar el resto de las zonas habitables del planeta

y seguir contaminando su atmósfera, puede que se produzca el colapso definitivo. En la ciencia no hay certezas absolutas, pero la teoría de Gaia ha sido validada por los hechos y predice que nos queda poco tiempo para reaccionar si queremos evitar los cambios desagradables que se nos vienen encima.

Fuentes de energía

La famosa cita de lord Acton, «el poder corrompe y el poder absoluto corrompe absolutamente», se suele asociar con el poder político y corre peligro de llegar a convertirse en un cliché. Pero también es una formulación alternativa aceptable de la segunda ley de la termodinámica, que dice que las cosas tienen a desgastarse, degenerar y desordenarse. En nuestro universo, no es posible utilizar energía para cualquier propósito, sea bueno o malo, sin corromperla.

Se dice que el universo empezó con una explosión primordial de magnitud cósmica, el Big Bang, y quizá por ello todavía es casi totalmente nuclear, y un lugar donde pequeños planetas como el nuestro no son sino restos radioactivos de las ocasionales explosiones nucleares estelares. Si fuera de otro modo, no habría fuentes de energía nucleares, como el hidrógeno, el deuterio, el uranio o el torio, ni contaríamos con el calor interno de la tierra ni con su tectónica de placas. La energía nuclear no es la más potente del universo. La gravedad, a la intensidad que tiene en los agujeros negros, puede convertir materia en energía con una eficacia cercana al 50 por ciento, lo que la hace más de cien veces más poderosa que la energía nuclear. La explotación de esa fuente está de momento limitada al reino de la ciencia ficción. En contraste con esas abundantes transacciones nucleares del uni-

verso, la fotólisis que las plantas realizan con agua para crear oxígeno, y la quema del carbono almacenado en él para conseguir energía, es uno de los fenómenos biológicos más extraños del sistema solar.

Si es perverso y peligroso conseguir energía quemando carbono fósil en oxígeno fósil, también lo es imaginar que existen cantidades comparables de energía libremente disponibles y sin riesgos a través de las llamadas energías «renovables». Imagine que tratásemos de impulsar nuestra civilización sólo con cosechas diseñadas específicamente como combustible, como la madera plantada para tala o el aceite de colza. Los «biocombustibles» tan aplaudidos como fuente de energía renovable. Incluso si esos productos naturales se usaran sólo para el transporte, para hacer funcionar nuestros coches, camiones, trenes, barcos y aviones, sería necesario quemar cada año entre dos y tres gigatoneladas de carbono como biofuel (una gigatonelada son mil millones de toneladas). Compare esa cantidad con nuestro consumo anual de comida, que es de media gigatonelada. Para cultivar esa comida ya usamos más superficie terrestre de la que sería recomendable, pero necesitaríamos la superficie de varios planetas como la Tierra sólo para cultivar biocombustible. Puede que en un momento dado seamos lo bastante idiotas como para prescindir de la comida con tal de poder ir en coche a donde queramos, pero Gaia no es tan tolerante como nosotros. La superficie de la Tierra ha evolucionado como hogar de ecosistemas que contribuyen al metabolismo de la propia Tierra y no pueden ser reemplazados por cultivos. Ya nos hemos apropiado de más de la mitad de las tierras productivas para cultivar comida y materias primas. ¿Cómo va Gaia a regular la Tierra si, para cubrir nuestras necesidades de combustible, le arrebatamos el poco suelo que le queda? Lo que sí podemos hacer es mejorar el rendimiento de los cultivos utilizando una porción razonable de los desperdicios de campos y bosques junto con paja, abonos y fragmentos de madera como combustible.

Tampoco debemos esperar poder conseguir toda la energía que necesitamos del viento, el sol y las mareas sin que haya consecuencias. Como advierten los buenos economistas, nadie da nada gratis y empezamos a ver que las granjas de viento alteran la verticalidad de la atmósfera y puede que influyan negativamente en el clima de la región en la que se instalan. Hasta ahora se han desplegado pocas de estas centrales eólicas. ¿Acaso cubriremos Europa de molinos de viento sólo para descubrir después que tienen una serie de consecuencias dañinas en las que deberíamos haber pensado de antemano?

Como defenderé detalladamente más adelante en este mismo capítulo, creo que la energía nuclear es la única fuente de energía que satisfará nuestra demanda sin suponer una amenaza para Gaia ni interferir en su capacidad para mantener un clima y una composición atmosférica adecuadas para la vida. Es así porque las reacciones nucleares son millones de veces más potentes que las reacciones químicas. La mayor cantidad de energía que podemos extraer de una reacción química como quemar carbono en oxígeno es de unos nueve kilovatios hora por kilo. La fusión nuclear de átomos de hidrógeno para formar helio da una cantidad muchos millones de veces superior, y la energía resultante de la fisión del uranio es todavía mayor. Esto quiere decir que la cantidad de combustible nuclear necesario para abastecer nuestra demanda de energía sería minúsculo comparado con las masivas transacciones habituales en Gaia, y también sería muy pequeña la cantidad de residuos producida. Podríamos usar la fisión o fusión nuclear durante bastante tiempo antes de encontrarnos con el tipo de problema que hoy tenemos con los combustibles fósiles.

La luz del sol que cae sobre nuestros tejados parece a priori la fuente de energía ideal. Puede que así sea cuando se invente algún tipo de transformador eficaz y barato de luz solar en electricidad; hoy en día, todavía son demasiado caros para que se generalice su uso y sólo aplicables como única fuente en naves

espaciales u otros usos en que el coste no sea obstáculo. Calentar agua mediante la luz del sol es una manera razonable de reducir el consumo de combustibles fósiles para usos domésticos o industriales y es un método ampliamente generalizado. Entre las fuentes de energía renovables hay una excepcional que prácticamente no tiene contraindicaciones: la energía geotérmica. Por desgracia está disponible en pocos lugares. Islandia es uno de ellos, y ese país satisface gran parte de sus necesidades energéticas con ella. Pero, por supuesto, la energía geotérmica procede principalmente del calor que generan los elementos radioactivos de las rocas y, como la energía solar, tiene un origen nuclear.

Cuando hablamos de energía tendemos a pensar en electricidad. En principio puede parecer una perspectiva un poco miope, pero como veremos, de hecho es adecuado pensar en primer lugar en la electricidad. Es cierto que gran parte de la energía que usamos procede directamente de combustibles fósiles. En transporte utilizamos casi un tercio de ella, otro uso básico es la calefacción doméstica, el resto va a fabricantes de acero, cemento, plástico y todo tipo de compuestos químicos. Aun así, es imprescindible y vital un suministro continuo e ininterrumpido de energía eléctrica: es la que sostiene e impulsa el sistema nervioso de nuestra civilización. Una ciudad del siglo XXI a la que se privara de electricidad degeneraría en pocas semanas hasta convertirse en una especie de campo de refugiados que albergara a millones de hambrientos y penosamente incómodos inquilinos. A pesar de su importancia, tendemos a dar la electricidad por suelta, al menos hasta que se corta el suministro. En marzo de 2004 se emitió en la BBC un espléndido documental titulado «If the Lights Go Out», que retrataba con claridad las desastrosas consecuencias que tendría un apagón a escala nacional avanzado este siglo. La acción se situaba en un momento en que el suministro de gas natural provenía principalmente de Rusia y en que el 80 por ciento de la electricidad procedía de centrales alimen-

tadas por ese gas. En el documental, un ataque terrorista destruye el principal gasoducto de Rusia provocando un apagón eléctrico general en el Reino Unido. Se describen vivamente las horrendas consecuencias para Londres de un cese absoluto del suministro eléctrico. Se detiene el metro, se apaga el alumbrado público y los semáforos, no hay combustible para los coches, no funcionan los ascensores de los edificios altos, se apagan las calefacciones (la mayoría de sistemas están controlados eléctricamente), sólo funcionan las radios y los televisores que van a pilas, y se colapsan todos los ordenadores centrales que no disponían una fuente alternativa de energía. Por si la situación no fuera lo bastante mala, también se produciría una escasez generalizada de alimentos, pues los congeladores dejarían de funcionar, y fallarían los sistemas de alcantarillado y suministro de agua. Insisto en que necesitamos la energía nuclear porque no existe ninguna otra alternativa segura y fiable para la producción de electricidad a gran escala. El documental de la BBC estaba ambientado en un tiempo en que un gran anticiclón de tiempo frío y sin viento imposibilitaba conseguir ni siquiera la mínima cantidad de electricidad que podrían proporcionar las plantas eólicas.

Para apoyar mi tesis de que un suministro continuo de energía es un requisito esencial para la civilización, lo que sigue es un breve relato de nuestra experiencia personal con un apagón a pequeña escala causado por el mal tiempo.

Estaba sumido en mis pensamientos frente a la pantalla del ordenador, escribiendo una carta especialmente complicada. Un amigo me había pedido ayuda. Estaba convencido de que las líneas eléctricas que pasaban cerca de su casa en Week St Mary, en Cornualles, amenazaban la salud de su familia. Temía en particular que el campo de radiación de baja frecuencia que generaban pudiera causar leucemia. ¿Cómo podía decirle, amablemente, que sus temores no tenían razón de ser y que se había dejado arrastrar por el clima de miedo que parece for-

mar ya parte habitual de nuestra vida en nuestro rico primer mundo?

De repente, mi ordenador emitió un pitido ahogado, el texto en la pantalla se desvaneció y la habitación se quedó a oscuras. Sin que yo me diera cuenta desde la comodidad de mi habitación tranquila con vidrios dobles, la tormenta que rugía fuera, en un estallido de furia, había derribado un árbol que había caído sobre la línea eléctrica que alimentaba el pueblo. Los franceses tienen un eufemismo extraño pero memorable para referirse al orgasmo: lo llaman «la pequeña muerte», un sentimiento igual de poderoso, pero no definitivo, como «la gran muerte». Parecía perfecto para expresar la profunda sensación de pérdida y desamparo que siempre conlleva un fallo del suministro eléctrico. ¿Cómo podía mi amigo temer tanto a la electricidad cuando yo me sentía tan perdido sin ella? En cuanto me quedo a oscuras, empiezo a sentir los efectos del síndrome de abstinencia, ese horrible malestar que asalta a los adictos a la heroína cuando se les retira la droga. Me guste o no, como todos los demás, toda mi vida he sido un adicto a la corriente alterna.

En la casa pronto empezó a hacer frío y Sandy y yo tropezamos varias veces tratando de recordar dónde habíamos puesto la lámpara de gas butano después del último apagón. Pasaron varios días antes de que se restableciese el suministro eléctrico. La tormenta tuvo casi la fuerza de un huracán; demasiado para la vulnerable línea rural que nos abastecía.

Me pregunté cómo lo habrían vivido mi amigo y su familia: ¿les habría aliviado el apagón temporalmente sus miedos o quizá, al verse abruptamente desprovistos de los beneficios de la electricidad, habrían cambiado de opinión? No podía saberlo: la línea telefónica estaba cortada y aquéllos eran tiempos anteriores a los teléfonos móviles.

Pronto nos dimos cuenta de que, para nosotros, aquella situación era como unas imprevistas vacaciones y aprovechamos el tiempo para viajar a la costa norte de Cornualles, cerca de Mor-

wenstow. Allí, la gran masa del Atlántico se estrella contra la abrupta y rocosa costa. Caminamos hasta la cabaña de madera construida por el reverendo Hawker, el párroco de Morwenstow, cien años atrás. Tratamos de imaginarnos qué debía de pensar mientras los barcos se hacían pedazos contra las rocas frente a sus ojos.

En una vertiente más práctica, visitamos a Theodore y Gerald, los dueños del garaje del pueblo, y les pedimos un chute de tecnología para compensar nuestro mono: un generador Honda para hacer frente a la emergencia. Estábamos sacando el mejor provecho de nuestra mala suerte, pero aun así añorábamos mucho el calor de nuestro hogar.

Habíamos retrocedido a tiempos pasados; teníamos casa y refugio frente al frío y la humedad, teníamos un hogar en el que ardía madera que nos daba calor, y en una habitación, a diferencia de los viejos tiempos, teníamos una radio a pilas para oír las noticias y entretenernos. Apenas echamos en falta la televisión porque casi nunca la mirábamos. La radio, especialmente BBC 3 y BBC 4, bastaban para entretenernos e informarnos, aunque echábamos de menos el aparato de alta fidelidad, pues para nosotros la música es una parte fundamental de la vida. Pero sobre todo tuvimos tiempo para darnos cuenta y comentar entre nosotros lo profundamente dependientes que éramos de la corriente eléctrica, por mucho que siempre hubiéramos creído lo contrario.

Es extraordinario cómo la energía eléctrica se insinúa dendríticamente en la sociedad. Los cables que la conducen llegan a cada casa como si fueran los nervios de nuestro cuerpo. Siempre está ahí cuando la necesitamos y siempre a un nivel maravillosamente constante, aunque casi ninguno de nosotros tenga más que una muy vaga noción de qué es o cómo se hace o regula. Somos como las termitas que, sin pensar, construyen sus espaciosas comunidades como rascacielos con aire acondicionado. El sistema eléctrico es una comunitaria pero casi totalmente incons-

ciente actividad. No es sorprendente que lo demos siempre por supuesto. Nosotros, al menos, así lo hicimos hasta que falló el suministro.

Creo que la obra más sucinta y útil sobre fuentes y uso de la energía es la publicación de 2003 «Power to the People», del profesor Michael Laughton. Es ecuánime y no se deja influir por los productores de energía ni por los grupos de presión ecologistas. A continuación recorreremos la historia de la evolución de las fuentes de energía industriales y domésticas vistas desde un punto de vista de la salud, tanto humana como planetaria.

Combustibles fósiles

Desde que empezó la vida, hace más de tres mil millones de años, los restos de los seres vivos se han enterrado en el suelo o en los lodos del fondo de los ríos, lagos y océanos. Una pequeña proporción —cerca del 0,1 por ciento— del carbono de estos residuos orgánicos no es metabolizada ni fermentada por microorganismos, y se integra por tanto en los sedimentos rocosos. El carbón negro y el petróleo son prueba tangible de este banco de carbono, pero la mayor parte de él está mucho más diluido y aparece en forma de rocas sedimentarias oscuras. El otro producto de la fotosíntesis, el oxígeno, permanece en el aire. Antes de que empezáramos a interferir gravemente en este proceso natural, el nivel de oxígeno se regulaba mediante el equilibrio entre la cantidad de carbono enterrada y el nivel de eliminación de oxígeno al reaccionar éste con el carbono y otros elementos de las rocas que los movimientos de la Tierra sacaban a la superficie. El movimiento continuo de las placas tectónicas, impulsadas principalmente por el calor radioactivo del núcleo, levanta cadenas de montañas y expone sedimentos antiguos y enterrados

a la atmósfera. Conforme la lluvia, la escarcha y el hielo las van desgastando, el carbono y otros elementos encerrados en ellas se ven expuestos al oxígeno del aire, con el cual reaccionan; el carbono se convierte entonces de nuevo en dióxido de carbono. La oxidación se da sobre todo en microorganismos que obtienen su energía recombinando el carbono y el oxígeno. En el uso natural que les da Gaia, los combustibles fósiles proporcionan una energía perfectamente renovable, herencia de nuestras formas de vida más ancestrales.

Existe la ingenua creencia de que los combustibles fósiles no son naturales y no son renovables. Esta concepción errónea procede de la visión de los humanos como animales supranaturales: los combustibles fósiles son producto de organismos vivos y no menos naturales que un pedazo de madera. Cuando un accidente en el mar vierte grandes cantidades de petróleo sobre las costas, rocas y cuevas costeras, lo vemos como un desastre medioambiental, y hasta hace muy poco tratábamos de limpiar el petróleo con detergentes. Ahora, con mayor sentido común, dejamos que de la limpieza se encarguen los organismos naturales para los que el vertido es comida.

Cuando quemamos combustibles fósiles para conseguir energía, en términos cualitativos no estamos haciendo nada peor que quemar madera. Nuestro delito, si es que así podemos llamarlo, es extraer energía de Gaia a un ritmo cientos de veces más rápido de lo que Gaia puede reponerla de forma natural. Nuestro pecado es cuantitativo, no cualitativo. De hecho, como ya he dicho antes en este mismo capítulo, quemar grandes cantidades de madera o cultivos destinados a combustible, algo que se considera erróneamente como energía renovable, es potencialmente más destructivo para el sistema Tierra que utilizar combustibles fósiles. Tanto los combustibles fósiles como los biocombustibles son cuantitativamente no renovables cuando se consumen al ritmo excesivo que requiere nuestra civilización hipertrofiada y adicta a la energía. Como siempre, regresamos a

la inevitable cuestión de que, para vivir como vivimos, somos demasiados.

Carbón y petróleo

La generación de energía por la quema de cualquier combustible líquido o sólido disponible ha alcanzado un rendimiento tan alto que hace poco probable futuras mejoras. Esa vieja tacaña de la segunda ley imposibilita que podamos convertir más de la mitad de la energía del combustible quemado en electricidad. En realidad, obtener un 40 por ciento está muy bien. El 60 por ciento restante escapa en forma de gases calientes a través de las chimeneas de la central y de vapor de agua que se eleva desde las extrañas y ligeramente amenazadoras torres de refrigeración biconcavas. (Se las suele asociar a menudo con la energía nuclear, pero se utilizan para mejorar el rendimiento de cualquier central térmica.) Las naciones más previsoras se esfuerzan por reducir la ineficiencia. El calor desperdiciado se recoge como agua caliente y se canaliza hacia la localidad más cercana a la central para ser usado como calefacción en invierno. La extracción del dióxido de carbono de los gases de los hornos no es técnicamente difícil y ya se realiza en una planta piloto en Noruega. Allí, el dióxido de carbono, una vez aislado, se envía a presión a un yacimiento de gas agotado que hay bajo el mar de Noruega. Es cierto que el aislamiento y almacenamiento del dióxido de carbono aumentaría el coste de la electricidad que producen las centrales térmicas que queman carbón o petróleo, pero no de forma exorbitante.

Los ingenieros químicos han diseñado plantas piloto que convierten el carbón en hidrógeno. Éste puede quemarse eficientemente en una turbina de gas, dejando como único residuo vapor de agua y, cuando la tecnología de células de combustible madure, se podrá incluso convertir directamente en electricidad.

El dióxido de carbono todavía será un subproducto que se tendrá que almacenar o enterrar, pero estas centrales energéticas poco convencionales parecen ser eficaces productoras de electricidad.

Si hubiéramos desarrollado e instalado equipos para aislar el dióxido de carbono en las centrales productoras de energía y en las industrias hace cincuenta años, los problemas a los que nos enfrentamos hoy tendrían solución. Seguiríamos necesitando aislar el dióxido de carbono del 30 por ciento de emisiones que proceden de los diversos medios de transporte —aviones, coches, autobuses, trenes, barcos y camiones— pero ese problema podría solucionarse mediante una sustitución gradual. Ahora, irónicamente, todavía tenemos disponibles grandes reservas de energía basada en el carbono en vastos depósitos subterráneos de petróleo y en los todavía mayores yacimientos de carbón y arenas de alquitrán, pero se ha extendido la idea de que no podemos utilizarlos de la forma libre y descuidada en que lo hicimos el siglo pasado.

La producción anual mundial de dióxido de carbono es de 27.000 millones de toneladas. Si pudiéramos congelar esa cantidad de dióxido de carbono hasta volverla sólida, cosa que ocurre a los -80°C , formaría una montaña de un kilómetro y medio de alto y veinte de circunferencia. Aislar esa cantidad cada año no es algo que se pueda conseguir fácilmente. Quizá no sea posible lograrlo antes de veinte años, pues a pesar de la voluntad y el entusiasmo que se pongan, hacen falta entre veinte y cuarenta años para que cualquier nueva tecnología se globalice. Así sucedió con el vapor, la electricidad, la aviación, la radio, la televisión y los ordenadores.

Es importante no perder de vista que la posibilidad de usar combustible comparativamente barato no está limitada por las reservas de petróleo. La industria petrolera puede pasar del petróleo al gas o el carbón como fuente a partir de la cual producir sus productos: gasolina, diesel y combustible para la aviación.

Esos productos continuarán usándose, pero se elaborarán, cada vez más, a partir de combustibles fósiles sólidos y gaseosos. Los químicos pueden descubrir formas de crearlos y de crear otros combustibles menos contaminantes a partir de cualquier fuente de energía, incluso de la energía nuclear, pero la inercia de la civilización industrial es tan fuerte que, lo más probable, es que sigamos utilizando combustibles fósiles al menos durante una década.

Lo más triste es que es muy posible que no podamos detener las emisiones a tiempo. Piense en lo difícil que será para grandes naciones como China, India y Estados Unidos contrarrestar la inercia de sus enormes poblaciones. Pase lo que pase, tenemos que dejar los combustibles fósiles lo antes posible, porque incluso si ya hemos pasado el punto de no retorno que hace irreversible el cambio climático, el ritmo y alcance de ese cambio adverso depende de que lo hagamos. Nuestro objetivo debe ser conseguir el mundo menos caliente posible.

Gas natural

El gas natural parece en muchos sentidos el combustible fósil ideal y se utiliza para producir electricidad en centrales con turbinas de gas que son compactas, muy eficientes y que pueden construirse en o cerca de núcleos de población, para los que son una fuente combinada de calor y energía.

Los gobiernos y las industrias que desean reducir sus emisiones de dióxido de carbono y disminuir su parte de responsabilidad en el calentamiento global han empezado a utilizar gas natural en lugar de carbón o petróleo. El principal componente del gas natural es el metano, el más simple de los hidrocarburos, con sólo un átomo de carbono y cuatro de hidrógeno en su molécula. Para la misma cantidad de energía que el carbón o el petróleo, la combustión de metano produce sólo la mitad de dióxido de

carbono. Qué manera más maravillosa de cumplir el objetivo establecido en los acuerdos de Kyoto.

Por desgracia, en la práctica, algo de gas natural siempre escapa a la atmósfera en lugar de quemarse. Según el informe de la Sociedad de la Industria Química de 2004, en escapes se pierde entre el 2 y el 4 por ciento del gas usado. A lo largo de los miles de kilómetros de gasoductos que llevan el gas desde sus yacimientos hasta las centrales eléctricas y los hogares, a pesar del gran cuidado que se pone en evitarlas, se producen fugas. Las mayores suelen darse en los yacimientos, aunque un poco de gas se escapa también cuando lo quemamos en nuestros hogares. Cada vez que lo encendemos una parte va a parar al aire sin quemar y, cuando apagamos la llama, el gas que va del tapón o válvula hasta el quemador también se pierde. Hay millones de hogares que utilizan el gas en la cocina y en la calefacción central, y las fugas, aunque minúsculas a nivel individual, sumadas forman una parte significativa del total de escapes de metano al aire.

El problema de estos escapes de metano es que es veinticuatro veces más potente como gas de efecto invernadero que el dióxido de carbono. Afortunadamente, tiene un período de permanencia relativamente corto en el aire y alrededor de un 8 por ciento se oxida de forma natural cada año. En doce años sólo un 37 por ciento del metano que se ha escapado permanece, el resto se ha oxidado y convertido en dióxido de carbono o vapor. El dióxido de carbono queda durante mucho más tiempo en el aire y es difícil de eliminar. Su período de permanencia real se cifra entre cincuenta y cien años. Alrededor de la mitad del dióxido de carbono que hemos añadido al aire en toda la historia de la humanidad todavía sigue en el aire.

Pero, aun así, el metano debe preocuparnos. Si aproximadamente el 2 por ciento del gas natural usado cada año se pierde en fugas, a lo largo de un período de veinte años causa un pico de calentamiento global equivalente a quemar carbón en lugar

de gas natural; con un 2 por ciento de fugas, la ventaja que para Kyoto supone el gas se podría perder en las próximas dos décadas. Si las fugas suponen un 4 por ciento, el efecto invernadero es más de tres veces superior al producido al quemar carbón. La afirmación de que, al mismo nivel de producción de energía, quemar gas natural en lugar de carbón reduce a la mitad la emisión de gases invernadero sólo se confirma si no se producen fugas en ningún punto entre la extracción y las cámaras de combustión.

Es difícil encontrar estimaciones de cuánto gas natural se pierde en fugas. Una breve reseña publicada en *Nature* en abril de 2004 por J. Lelieveld y sus colegas del Instituto Max Planck de Química de Maguncia, Alemania, informa de que las fugas de los gasoductos rusos son de un 1,4 por ciento, una cifra comparable al 1,5 por ciento en que se han cifrado las que se producen en Estados Unidos. Este informe alemán no da una estimación de los escapes en los yacimientos o de los que se producen en el momento en que se quema el gas, y quizá por ello es menor que el porcentaje de 2 a 4 por ciento que ofreció la Sociedad de la Industria Química en 2004. Es grave que desconozcamos este dato, y debería haber una sección del IPCC dedicada específicamente a estimar la gravedad de las fugas de metano y aportar ideas para prevenirlas.

El problema de estos escapes se agrava por la naturaleza caótica de la política. La mayoría de los yacimientos de gas están en regiones inestables y es casi imposible realizar una supervisión satisfactoria de la extracción. Para un grupo terrorista, un gasoducto es un objetivo sencillo, pues recorre miles de kilómetros a través de zonas abiertas. Saben que unos pocos kilos de explosivo detonados junto al gasoducto pueden causar un daño enorme a la economía de un país. Cuando comprendan la amenaza que suponen para el mundo las fugas de gas, tendrán una carta incluso más poderosa que jugar en su partida de chantaje al mundo. Hoy por hoy, es posible que quemar gas en lugar de carbón no

sólo no mejorará nuestras posibilidades de reducir el calentamiento global sino que, de hecho, lo acelerará.

También debemos pensar que, pronto, el mundo se dedicará a enviar gas natural licuado en grandes barcos desde los remotos yacimientos hasta las hambrientas centrales de producción de energía de Estados Unidos, Japón, China y Europa. El metano se hace líquido a $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$ y puede transportarse en grandes contenedores herméticos. Pero a través de las paredes de esos contenedores se filtra calor exterior suficiente como para hacer hervir el metano y, por consiguiente, algo de gas se filtra. Cuanto más largo es el viaje, más grave es la fuga de gas. (Por supuesto, las compañías navieras utilizarán parte del metano que se escape para alimentar los motores del barco.) Por otra parte, los barcos sufren accidentes. Si eso sucediese, la mayor parte del cargamento de gas licuado pasaría a la atmósfera.

Hidrógeno

El hidrógeno, como la electricidad, hay que fabricarlo. No hay pozos o yacimientos de hidrógeno en la Tierra. Los ingenieros químicos pueden diseñar plantas que fabriquen hidrógeno a partir de casi cualquiera de los demás combustibles —gas, petróleo o carbón— o puede obtenerse, mediante electricidad, directamente del agua. La energía nuclear puede ser también una fuente de hidrógeno, sea a través de la electricidad generada en una central nuclear o directamente, utilizando un reactor nuclear a alta temperatura. Fabricar hidrógeno no es difícil, pero veo muy improbable que lo veamos llegar pronto a la industria y los hogares como sustituto del gas natural. También es poco probable que el hidrógeno llegue a distribuirse a escala relevante como combustible para transporte y, aunque fuera factible, la construcción de la infraestructura necesaria para fabricar, transportar y liberar hidrógeno llevaría más tiempo del que disponemos.

Podemos evitar algunas de las consecuencias de la segunda ley si quemamos el combustible en baterías. Una batería no es más que una pila que tiene en un electrodo el combustible y en el otro oxígeno. En teoría, una pila de ese tipo puede convertir la mayor parte de la energía de la reacción en electricidad. Nunca llegará al ciento por ciento, pero sin duda conseguirá un porcentaje de transformación mucho mayor del que consigue la mejor central energética actual. Hasta ahora, el mejor combustible para estas baterías es el hidrógeno. Los módulos de los astronautas basan su suministro de energía y calefacción en electricidad obtenida haciendo reaccionar el hidrógeno con el oxígeno dentro de baterías. Éstas son una buena solución, pero en la actualidad son muy caras y un poco inestables.

El hidrógeno es mucho más difícil de manejar que otros combustibles gaseosos, como el metano y el propano. Actualmente sólo se puede almacenar a altísimas presiones en contenedores muy resistentes hechos de metal o fibra de carbono. Tienen de hacer que el acero se torne quebradizo y, por su pequeño tamaño molecular, se filtra fácilmente por diminutos agujeros que no darían problemas con un gas más pesado, como el propano. Por otra parte, el hidrógeno mezclado con el aire explota al prenderse, en lugar de quemar rápida pero progresivamente, como el metano. Además, la llama de hidrógeno es invisible, así que la ignición de una pequeña fuga puede causar un grave sobrecalentamiento de las válvulas antes de ser detectada. La ingeniería puede hacer frente a estos problemas, pero no se puede descuidar el coste que supondrían si se estableciese una economía basada en el hidrógeno.

Hay una manera práctica de usar el hidrógeno imaginada por el ingeniero norteamericano Geoffrey Ballard. Plantea toda una economía basada en el hidrógeno, curiosa pero que podría funcionar. Propone que en el futuro, la reserva de hidrógeno de cada país no se almacene en grandes tanques sino en los depósitos de combustible de los coches. Éstos podrían utilizar ese hidrógeno

para funcionar, pero a la vez serían un almacén nacional de energía. Las baterías de hidrógeno son reversibles, es decir, pueden usar hidrógeno para quemar electricidad o, de igual modo, pueden producir hidrógeno si se les suministra electricidad. Ballard afirma que la flota total de coches de la mayoría de las naciones tiene una capacidad de producción de energía muy superior a la de las centrales eléctricas de sus respectivos países. Lo único que haría falta sería que, cuando no estuviese en marcha, cada coche fuese enchufado a la red nacional, lo que sería fácil de hacer, tanto en casa como en los aparcamientos.

Coches y camiones se convertirían así en almacenes y generadores del suministro eléctrico nacional, a la que vez que podrían extraer energía de él. La fuente primaria de energía estaría pues constituida por pequeñas unidades generadoras que no emitirían gases invernadero. El hidrógeno estaría repartido en millones de pequeños almacenes distribuidos por todas partes. Creo que se trata de una idea creativa y atractiva y espero que la tecnología de las baterías y de los depósitos de hidrógeno se desarrolle lo bastante como para hacerla viable.

Renovables

Las expresiones «desarrollo sostenible» y «energía renovable» han pasado a formar parte del lenguaje de la política, y los políticos las utilizan para demostrar su preocupación por el medio ambiente y demostrar lo verdes que son. Dudo que la doctora Gro Harlem Brundtland, la creadora del concepto de desarrollo sostenible, hubiera llegado a imaginar hasta qué punto sus buenas intenciones serían malinterpretadas. Me pregunto si se siente como me sentí yo cuando, hace dos años, vi en Japón un modelo de coche llamado «Gaia». Y ni siquiera era un vehículo híbrido diseñado para ahorrar energía.

Antes de que acabase el siglo xx no sabíamos lo grave que era

la amenaza del calentamiento global y creíamos que la civilización sólo podía prosperar con un crecimiento económico ininterrumpido. Algunos de nosotros pusimos en duda ese dogma y durante años nos esforzamos en separar el crecimiento económico del consumo de combustibles fósiles y materias primas. Pocos lo hicieron mejor que Amory Lovins y los miembros de su Rocky Mountain Institute, cuyas ideas llevaron a que se diseñasen y construyesen coches mucho menos contaminantes, los híbridos, impulsados en parte por un motor eléctrico y en parte por uno de combustión interna, y a la creación de toda una serie de ingeniosos y prácticos instrumentos para ahorrar energía. El concepto de energías renovables se inspiró en parte en la noción de crecimiento económico sin coste medioambiental propugnada por esta institución.

Ya en 1981, Stephen Schneider incluyó como un epígrafe de su libro *The Primordial Bond*, la advertencia de Paul y Anne Ehrlich:

El sistema medioambiental de la Tierra se colapsará si intentamos que todos los seres humanos lleven un estilo de vida similar al de los europeos. Sugerir que ese incremento del nivel de vida es posible en un mundo con una población que será el doble de la actual en la primera parte del próximo siglo es absurdo.

Desde principios del siglo XIX hemos tomado de la Tierra más de lo que ésta podía darnos. Puede que el desarrollo sostenible y las energías renovables hubieran funcionado si las hubiéramos aplicado antes, pero creo que esperar que, junto con el ahorro de energía, mantengan nuestro nivel no es más que un sueño utópico.

Europa ha perjudicado gravemente su agricultura y su competitividad en el mundo mediante una compleja mezcla de subsidios, créditos y mercadeo que se conoce como política agraria

comunitaria (PAC). Ahora parece que la Unión Europea está decidida a impulsar una política energética comunitaria todavía más insensata. Lo poco que quedaba de campo virgen en Alemania se ha visto todavía más reducido para hacer sitio a 17.000 enormes turbinas de viento. El Reino Unido seguirá el ejemplo alemán y Dinamarca ya lo ha hecho.

Puesto que Europa está tan comprometida con la energía eólica y puesto que muchas de sus naciones se oponen radicalmente a la energía nuclear, en este capítulo voy a hablar más de la energía eólica y de la fisión nuclear que de otras fuentes de energía. Uno de los mejores libros, aunque tendencioso, sobre las diversas energías renovables es el editado por Godfrey Boyle, *Renewable Energy*, que era uno de los componentes básicos del curso de la Open University sobre el tema. Asimismo, una visita al Centro de Tecnologías Alternativas (CAT) en Machynlleth, en Gales, sirve para hacerse una rápida idea de las fuentes de energías renovables.

Energía eólica

El constante movimiento del aire y los océanos del mundo está impulsado por el calor del sol. Se produce porque casi todos los fluidos, como el aire y el agua, con los cambios de temperatura cambian de densidad. Conforme la tierra se calienta con la luz del sol, el aire en contacto con ella se calienta también y se vuelve menos denso, con lo que se eleva como si fuera un globo. Cuando la superficie del mar se calienta se vuelve más ligera y flota sobre las aguas más frías del fondo; no se mezcla con esas aguas frías y, en consecuencia, se crea en el estrato superior una capa templada. De esa capa templada de la superficie del océano se evapora agua continuamente, ésta se mezcla con el aire y hace descender así su densidad dándole lo que se conoce como calor insensible, así llamado por ser una medida del contenido de ca-

lor del aire, no de su temperatura. Para evaporar un gramo de agua hace falta una cantidad asombrosa de calor —unas 600 calorías— y este calor puede recuperarse cuando el agua se condensa de nuevo. Conforme la masa de aire caliente y húmedo cobra altura, se enfría, y el vapor de agua que contiene se condensa, liberando su calor latente y aportando más energía en forma de calor para que la masa de aire suba todavía más. Ésta es parte de la fuerza que activa las tormentas tropicales.

La siguiente consecuencia de todo este aire húmedo y caliente que ha ascendido es un desplazamiento del mismo del ecuador hacia el norte y hacia el sur. El movimiento vertical del aire caliente no le permite penetrar con facilidad en la estratosfera, una capa de la atmósfera que, en las regiones templadas del norte, se sitúa a diez kilómetros de la superficie (donde la mayoría de nosotros hemos estado, sin saberlo, al viajar en avión). La estratosfera es más cálida que la capa de aire inmediatamente inferior y descansa sobre ella de forma similar a como la capa más superficial del océano descansa sobre las aguas más frías debajo de ella. La frontera entre estas dos partes separadas del aire se llama tropopausa y forma una barrera invisible al movimiento ascendente del aire. Está más alta, a unos diecisiete kilómetros, en las regiones ecuatoriales. El aire caliente húmedo tropical se eleva a través de la troposfera —la región inferior de la atmósfera en la que existimos nosotros y se desarrollan las nubes— y conforme se eleva, se desprende de su humedad, que cae en forma de lluvia. Cuando el aire seco llega a la tropopausa, gira hacia el norte o el sur y se mueve formando algo semejante a un par de grandes cilindros planos que circundan el planeta. Al alcanzar ese aire, meridional o septentrional, latitudes de alrededor de 30° norte o sur, empieza a descender; ese movimiento descendente calienta el aire por compresión, lo que provoca que las regiones sobre las que desciende sean las zonas más cálidas y secas del mundo: los desiertos de Australia, Chile, Sahara, Texas y México, y el golfo Pérsico.

George Hadley fue el primero en describir esta forma de circulación planetaria del aire en un artículo enviado a la Royal Society en 1735 titulado «Sobre las causas generales de los vientos alisios»; por ello, las zonas de la Tierra sobre las que opera se conocen como células de Hadley. Este nombre fue escogido con gran acierto por uno de los principales centros de estudio del clima del mundo, ahora integrado en la Oficina Meteorológica de Exeter, en el Reino Unido, que fue fundada por la entonces primera ministra Margaret Thatcher en 1988. El calentamiento global hace que las células de Hadley tiendan a crecer expandiéndose hacia el norte y el sur. Las regiones secas de la tierra podrían extenderse entonces a la zona templada. Los flujos de retorno de aire seco a los trópicos son los vientos alisios del noreste y sudeste tan bienvenidos por los marineros. Dada la expansión de las células de Hadley conforme el calentamiento global se intensifica, sería poco inteligente por parte de los europeos creer que los actuales vientos dominantes del oeste seguirán soplando a la misma latitud.

La circulación del aire movido por el calor es la causa del viento, pero el movimiento de un fluido pocas veces es simple; el agua de la pila de la cocina rara vez fluye uniformemente hacia el desagüe cuando se retira el tapón. A menudo forma un vórtice y gira al caer. A veces, este vórtice es lo bastante potente como para que se forme un vacío en su núcleo, a través del cual arrastra ruidosamente aire hacia abajo junto con el agua. Lo mismo sucede en la atmósfera: el movimiento a gran escala provocado por el calor que gira como un huracán o ciclón es la causa del viento. No hay una respuesta simple y racional a la pregunta de «¿por qué se forma un vórtice?». Lo máximo que podemos conjeturar es que siempre que se produce un flujo de energía a través de la materia, emergen cosas interesantes como vórtices, llamas y vida. Erich Jantsch, en *The Self-organizing Universe* (1980), observó que parecemos vivir en un universo en el que, allí donde hay un flujo de energía, se forman estructuras organizadas.

La humanidad ha usado la energía eólica desde sus primeros tiempos, sobre todo para impulsar barcos de madera sobre el mar. El movimiento ecologista ha defendido el viento como una fuente de energía limpia y constante y puede que a largo plazo resulte prometedora. Pero en la actualidad, la energía eólica como sistema total está en sus primeras fases de desarrollo, y no es mucho más eficiente de lo que lo eran aquellos primeros biplanos con las alas unidas con cables, pioneros en el transporte aéreo. Todavía tenemos mucho que aprender sobre cómo usar la energía del viento y, sobre todo, debemos saber cómo almacenarla. El viento es cambiante y no sopla siempre. Los anticiclones, con poco o nada de viento, provocan los cálidos días de verano en que puede que necesitemos aire acondicionado y los fríos días de invierno en que necesitamos energía para la calefacción. Si pudiéramos almacenar la energía eólica, sería una gran ayuda, y en principio no hay motivo para que no podamos hacerlo. En Gales, por ejemplo, hay un pantano a bastante altura, construido en la década de 1950, y cuya agua es bombeada hacia arriba mediante energía eléctrica cuando hay un excedente de ésta, como por ejemplo, durante la noche. Cuando en las horas punta se necesita aumentar la producción de electricidad, se hace bajar agua del pantano hasta unas turbinas hidráulicas que generan el suministro extra que se necesita. La energía eólica es una forma potencialmente correcta y fiable de almacenar energía, pero requiere de una región montañosa adecuada cerca de un lugar muy ventoso. Se pueden investigar e idear otros métodos de almacenar energía, como, por ejemplo, mediante aire comprimido, pero la charlatanería barata de los entusiastas de la energía eólica que afirman que ésta se podría guardar en forma de hidrógeno que luego podría ser usado como combustible de automóviles, pasa por alto las décadas de investigación e ingeniería necesarias para que eso sea una opción práctica. En la actualidad, ninguna de ellas está disponible a la escala necesaria.

Hay muchas partes del mundo, como las Grandes Llanuras de Estados Unidos o las estepas de Rusia, en la que las plantas eólicas podrían coexistir con los cultivos industriales sin crear ningún tipo de problema. Las plantas eólicas en el mar parecen también una buena idea, pues allí el viento es más fuerte y constante que en tierra y se podrían situar en lugares apartados donde no estropearan el paisaje. Por desgracia, los costes de mantenimiento de las turbinas en el mar serían mucho más altos que en tierra. Para cada una de ellas harían falta pequeños barcos a los que las mareas contrarias o el mar estado del mar les impedirían a menudo amarrarse a la turbina. La ubicación de turbinas de viento realmente eficientes —es decir, enormes, de cien metros de altura o más— en lugares muy poblados de Europa se está demostrando muy impopular. Desde un punto de vista estético, no se trata de lugares adecuados para captar energía eólica a gran escala.

Pero la estética por sí sola no es motivo suficiente para rechazar lo que podría ser una fuente de energía limpia y valiosa. Si la energía eólica fuera de verdad capaz de cubrir una parte relevante de nuestras necesidades de energía en Europa occidental, la mayoría de nosotros apretaríamos los dientes y la toleraríamos, aunque para muchos sea un sistema desagradable e intrusivo. A veces, hay entusiastas de la energía eólica que dicen que el viento podría llegar a generar toda la electricidad que necesitamos. Dudo que los que afirman tal cosa se hayan molestado en calcular el número de turbinas de cien metros y un megavatio que harían falta. Sólo para cubrir las necesidades energéticas actuales del Reino Unido se precisarían 276.000 de esas turbinas o, lo que es lo mismo, tres turbinas cada dos kilómetros cuadrados y medio, si excluimos los parques y las áreas urbanas, suburbanas e industriales. Incluso si pudiéramos colocar ese número de turbinas, seguiríamos necesitando una manera eficiente de almacenar la electricidad que producen. No es un sistema eficaz y económico. La intermitencia de los vientos implica que, en el mejor

de los casos, las turbinas sólo producen energía un 25 por ciento del tiempo. Durante el 75 por ciento restante, la electricidad proviene de centrales de reserva de combustibles fósiles. Peor aún: esas centrales tienen que estar paradas cuando la energía eólica está disponible, lo que es una manera muy ineficaz de operar. El informe más reciente de Alemania registraba que la energía eólica sólo estaba disponible un 16 por ciento del tiempo y en Dinamarca, que ha sido un país pionero en su desarrollo, Niels Gram, de la Federación Danesa de Industrias, ha dicho: «En términos de ecología, los molinos de viento son un error, y económicamente no tienen sentido... Muchos de nosotros pensamos que el viento cubriría el ciento por ciento de las necesidades futuras de energía, pero estábamos equivocados. De hecho, si tenemos en cuenta la demanda total de energía, sólo cubre el tres por ciento».

Según un informe de la Royal Society of Engineers de 2004, la energía eólica terrestre europea es dos veces y media, y la marítima más de tres veces, más cara por kilovatio hora que la energía nuclear o la obtenida a partir del gas. Ninguna comunidad responsable apoyaría una fuente de energía tan poco fiable y cara si no fuera porque el público no conoce los costes reales, que han sido enmascarados con subsidios y la distorsión de las fuerzas del mercado por medio de la legislación. El entusiasmo por la energía renovable unido a una política en que cada nación trata de ganar puntos por su diligencia en el cumplimiento de los acuerdos de Kyoto está resultando una combinación desgraciada. Fracasar y provocará el descrédito tanto de los ecologistas como de los políticos lo bastante insensatos como para adoptar las energías renovables como parte importante de su suministro energético antes de que éstas hayan alcanzado un nivel adecuado de desarrollo.

La energía eólica, en nombre de un desarrollo industrial burdo e insostenible, está devastando parajes inusualmente bellos. Esos campos, aunque ya dañados por los cultivos indus-

triales, cuentan todavía con zonas que son un ejemplo de cómo vivir en armonía con el mundo natural. Creo que la responsabilidad de haber aconsejado mal a los gobiernos recae en bienintencionados urbanitas víctimas del sueño romántico e imposible de las energías renovables y de un temor equivocado a la energía nuclear; urbanitas que en realidad carecen de empatía con Gaia o el mundo natural. Habría sido más inteligente tratar de extraer la energía del océano a través de sus olas y mareas.

Energía mareomotriz

La energía mareomotriz utiliza la fuerza de la gravedad de la Tierra, la luna y el sistema solar. Autores de ciencia ficción han descrito civilizaciones futuras que extraen prácticamente toda su energía de esta fuente limpia y renovable, con la consecuencia de un paulatino descenso de la órbita de la luna hasta que ésta está tan cerca de la Tierra que la fuerza de la gravedad la hace pedazos. Pero ese lejanísimo futuro no debe ser óbice para que empecemos ahora a crear pequeñas centrales mareomotrices. Estoy en deuda con Jonathon Porritt, el principal líder de opinión sobre el medio ambiente, por hacerme llegar los detalles del proyecto de una central mareomotriz en el estuario del Severn. Este proyecto obtuvo el apoyo entusiasta del profesor Ian Fells en un congreso en Dartington Hall, en Devon, en junio de 2004. El profesor afirmó que la central mareomotriz de Severn costaría unos diecinueve mil millones de euros pero que, puesto que podría cubrir casi el 6 por ciento de las necesidades energéticas totales del Reino Unido, la consideraba una oportunidad de negocio muy atractiva. En La Rance, cerca de Cherburgo, en Francia, una central similar aunque más pequeña lleva en funcionamiento muchos años y su energía complementa el sistema eléctrico francés, que es básicamente nuclear.

Actualmente están en marcha varios proyectos experimentales a lo largo de las costas del Reino Unido que aspiran a obtener energía de los movimientos del mar. Algunos utilizan el movimiento de las olas, otros las mareas y otros las corrientes que circulan en el mar fruto de las mareas. En el número de octubre de 2004 de *Chemistry and Engineering News* puede hallarse una excelente panorámica del estado actual de la energía mareomotriz. Aunque estos proyectos valen la pena como experimentos y para ganar experiencia sobre el terreno, no debemos esperar que ni siquiera los más prometedores contribuyan a suministrar una parte relevante de la energía que necesitamos antes de que hayan transcurrido al menos veinte, y probablemente, cuarenta años.

Se suele olvidar que casi todos los avances importantes de ingeniería —como la energía a vapor, el suministro eléctrico, la radio, la televisión, el teléfono o la aviación comercial— tardaron unos cuarenta años desde que empezaron a suscitar entusiasmo hasta que se generalizó su aplicación en el primer mundo. No veo señales de que este período de gestación pueda abreviarse, excepto quizá cuando el imperativo de una guerra obliga a toda una nación a actuar al unísono.

Hidroelectricidad

Los molinos de agua son probablemente la forma de energía renovable que la humanidad ha utilizado desde hace más tiempo, y la hidroelectricidad es hoy una fuente de energía madura e importante. Algunas naciones, como por ejemplo Canadá, Noruega y Suecia, cubren la mitad de sus necesidades energéticas mediante energía hidroeléctrica. China ha construido recientemente la mayor central hidroeléctrica del mundo: la presa de las Tres Gargantas produce dieciséis gigavatios de electricidad. Aunque no está exenta de peligros y su impacto sobre el medio am-

biente no es neutro, la energía hidroeléctrica es mucho menos dañina que el consumo de combustibles fósiles. Por desgracia, hay demasiada gente y demasiados pocos ríos en Gran Bretaña y en muchos otros lugares del mundo, como para que esta benigna forma de energía pueda cubrir más que una pequeña parte de nuestro consumo total.

Biocombustibles

Utilizada con criterio y a pequeña escala, la quema de madera o de rastrojos agrícolas para conseguir calor o energía no supone una amenaza para Gaia. Pero debemos tener presente que la producción de biocombustible a gran escala es una amenaza. Sólo es renovable si no tiene efectos sobre el ciclo natural del carbono. Los biocombustibles son especialmente peligrosos porque es muy fácil cultivarlos como sustitutos de los combustibles fósiles, pero requerirían una área de tierra u océano mayor de lo que Gaia puede permitirse. Si ya es perverso conseguir energía quemando carbono fósil en oxígeno fósil, más lo es imaginar que cantidades comparables de energía están disponibles a partir de ésta tan aplaudida fuente de energía renovable. Tenemos que olvidarnos de las enseñanzas científicas y religiosas pasadas de moda y empezar a contemplar los bosques que cubren parte de la superficie de la Tierra como algo que ha evolucionado para cumplir una serie de funciones dentro del metabolismo del planeta, algo, por lo tanto, irremplazable. Ya nos hemos apropiado de más de la mitad de las tierras productivas para cultivar alimentos. ¿Cómo va Gaia a poder controlar la Tierra si le quitamos el resto para cultivar combustible?

Energía solar

No es sorprendente que en la antigüedad se rindiera culto al sol. Es la principal fuente de todo lo que necesita la vida de la Tierra. No sólo nos calienta con un suministro constante de 1,35 kilovatios de energía por metro cuadrado de la superficie que ilumina sino que, además, nos aporta la luz que permite la fotosíntesis de los organismos vivos y, en última instancia, nos alimenta y nos dio los combustibles fósiles que ahora utilizamos. Por encima de todo, el sol proporciona a Gaia la energía para regular nuestro planeta.

¿Por qué diantre, se preguntará usted, no podemos entonces utilizar directamente la energía solar? Sin duda debe de tener un potencial que sobrepase incluso nuestras necesidades actuales.

Desde luego, la luz del sol se puede convertir directamente en electricidad de muchas formas distintas. Podemos captarla con grandes lentes o espejos y utilizar el calor que genera para mover un motor a vapor conectado con un generador. Podemos conseguir electricidad directamente de placas solares. Éstas suelen estar fabricadas con silicio, el elemento que hace posibles muchos de los aparatos electrónicos que utilizamos actualmente. Estas placas solares hacen que partículas de alta carga energética de la luz solar, los fotones, desprendan electrones de los cristales de silicio. El flujo de esos electrones es la corriente eléctrica que produce la placa solar. Los paneles solares son muy valiosos e impulsan a los numerosos satélites construidos por el hombre que orbitan alrededor de la Tierra y que permiten una transmisión casi inmediata de la información, televisión a escala global y la vigilancia del aire, el mar y la tierra. Se usan también en lugares remotos, como montañas y desiertos, que están demasiado lejos como para hacer llegar a ellos los tendidos de cable de cobre de las líneas eléctricas.

Pero las placas solares no están todavía lo bastante desarrolladas como para poder suministrar energía directamente a hogares o centros de trabajo, sobre todo porque, a pesar de los treinta años que se lleva de investigación, siguen siendo muy caras de fabricar. En el Centro de Tecnologías Alternativas, situado en Gales, hay una casa experimental con el tejado hecho exclusivamente de placas solares de silicio. En verano produce unos tres kilovatios de electricidad, pero el coste de la instalación fue similar al de la propia casa y la duración media de esos paneles es de unos diez años. Por otra parte, la luz solar, como el viento, es intermitente, y sin métodos de almacenamiento adecuados, sería una fuente de energía poco adecuada en determinadas latitudes. Se está realizando un enorme esfuerzo científico para producir placas solares baratas a partir de materiales plásticos que pudieran ser manufacturados industrialmente. Hasta donde yo sé, la producción de una placa solar barata, de larga duración y que convierta de forma eficiente la luz solar en electricidad todavía no se ha logrado, y no hay fuentes de energía solar a gran escala económicamente viables y que pudieran aportar un suministro a gran escala. Esto último es especialmente cierto en las regiones templadas del norte del planeta, en las que el sol en invierno brilla muy bajo en el cielo y éste está a menudo nublado.

Si se pudiera disponer de un transformador de luz solar en electricidad de una eficacia del 25 por ciento y que fuera barato, podría estar bien recubrir los tejados con él y conseguir con ello una notable cantidad de energía adicional. Pero aun así, igual que sucede en el caso de la energía eólica, la intermitencia del suministro de luz solar haría imprescindible un medio eficaz de almacenamiento de energía que actualmente no existe. Me cuesta creer que plantas de energía solar a gran escala en las regiones desérticas, donde la intensidad y constancia del sol serían las adecuadas, pudieran compararse en términos de coste y fiabilidad con la energía de fisión o fusión, especialmente teniendo en cuenta el coste del transporte de la energía.

Energía nuclear

En la actualidad, hay dos fuentes distintas de energía nuclear. La primera, la *fisión* nuclear, utiliza la energía producida por la división de los grandes átomos de elementos como el torio, uranio y plutonio. La fisión es el método utilizado por las centrales nucleares actuales de todo el mundo. También impulsa los submarinos nucleares y está detrás de la potencia explosiva de las armas atómicas. La otra fuente de energía nuclear es la *fusión* del núcleo de elementos ligeros, como el hidrógeno y sus isótopos. Es la energía del sol y de la mayoría de las demás estrellas; todavía no se utiliza para producir energía de uso público pero sí aporta parte de la energía explosiva de la «bomba de hidrógeno». Suponiendo que los problemas de ingeniería no impidan construir plantas de fusión nuclear eficientes y prácticas, creo que éstas serán nuestras dos fuentes futuras de electricidad.

Energía de fusión

Cuando el hidrógeno arde, la llama es caliente y aporta la suficiente energía como para ser considerado un posible combustible para coches y otros vehículos. La energía de la combustión del hidrógeno procede del movimiento de un electrón en órbita alrededor del átomo de hidrógeno, entre éste y los electrones que rodean un átomo de oxígeno. Este movimiento del electrón genera una pequeña corriente eléctrica de una potencia de 0,82 voltios. Cuando incontables billones de átomos de hidrógeno queman en forma de llama, este flujo constante es lo que la mantiene caliente. Para que el hidrógeno y el oxígeno ardan, la mezcla tiene que calentarse a más de 500 °C, temperatura a la cual las moléculas

del gas se mueven lo bastante rápido como para que se produzca un número determinado de colisiones que originen el calor suficiente como para que la reacción se sostenga por sí misma. Si pudiéramos calentar los átomos de hidrógeno por encima de 150 millones de grados, alcanzarían tales velocidades y sus colisiones serían tan violentas que algunos se fusionarían formando un átomo más pesado de helio. Ese proceso de fusión libera una enorme cantidad de energía, tanta como la que se produciría por el impacto de un electrón acelerado por un potencial de 21 millones de voltios. Eso quiere decir que la fusión nuclear de hidrógeno produce millones de veces más energía que su mera combustión. Pero para desencadenar esa potente reacción hace falta disponer de algún medio de calentar el hidrógeno a 150 millones de grados.

Lo mismo que muchos otros científicos de todo el mundo yo sabía que la energía de fusión nuclear, la combustión nuclear de hidrógeno, es una fuente de energía limpia e inagotable, ya que es alimentada por el sol y otras estrellas. La mayoría de nosotros, sin embargo, pensábamos que todavía faltaba mucho para que fuera una opción viable en la práctica. Parecía imposible que las condiciones del núcleo del sol, con temperaturas de más de cien millones de grados centígrados, pudieran recrearse en la Tierra a escala suficiente como para integrarlas dentro del proceso de una central nuclear.

Pero, en febrero de 2005, el director del Culham Science Centre, el profesor sir Christopher Lewellyn Smith, nos invitó a Sandy y a mí a visitar su reactor Tokamak y a informarnos en persona de lo que habían averiguado al utilizarlo y qué perspectivas abrían sus experimentos para la energía de fusión. Nos asombró y encantó ver cómo su reactor de fusión mantenía encendida durante dos segundos una llama nuclear que quemó deuterio y tritio, isótopos del hidrógeno, generando dieciséis megavatios de potencia. Cierto que esa cantidad de energía fue sólo un 64 por ciento de la que se necesitó para encender la llama,

pero el experimento demostraba que la física y la ingeniería en la que se basaba el proyecto era sólida y funcionaba según lo previsto. El reactor del Culham es un prototipo a partir del cual se puede diseñar una central nuclear de fusión piloto que sería el primer paso para la primera central de fusión nuclear comercial.

Como científico, me emocionó hallarme enfrente del gran receptáculo en forma de toroide dentro del cual se habían logrado temperaturas muy por encima de las que se dan en la parte más caliente del núcleo del sol y se habían mantenido durante un par de segundos. La temperatura a la que ardió la mezcla de isótopos de hidrógeno fue de 150 millones de grados, superior a los 100 millones de grados que se dan en el centro del sol. El sol, por supuesto, puede darse el lujo de arder a un ritmo más reposado.

El combustible usado en la energía de fusión, el deuterio, es ilimitado y accesible. Constituye el 0,016 por ciento del agua y es fácil de extraer. El segundo combustible utilizado, el tritio, un isótopo radiactivo del hidrógeno, debe ser manufacturado. En el extraño mundo de la energía nuclear, el tritio es producido por el reactor de fusión durante su funcionamiento. Cuando los dos isótopos de hidrógeno se fusionan, generan energía en forma de dos partículas energéticas, una es un átomo de helio con tres millones de voltios de electrones y el otro un neutrón con catorce millones de voltios de energía. La energía cinética del átomo de helio aporta el calor que mantiene la llama de plasma caliente, y los neutrones descargan su enorme energía cinética en las paredes del reactor, donde se convierte en calor. En un reactor futuro, el calor del flujo de neutrones aportaría la energía termal que necesitan las turbinas de gas o vapor para producir electricidad. Ese flujo también podría aportar una fuente constante de combustible de tritio mediante su reacción con un isótopo de litio incorporado en las paredes del reactor.

Los residuos que genera un reactor nuclear de fusión consis-

ten en helio, que es un gas inofensivo y no radiactivo, con lo que no se produce ningún tipo de residuo nuclear radiactivo a largo plazo. Las partes metálicas del reactor se volverían medianamente radiactivas a causa del flujo de neutrones, pero procesarlas tras su vida útil supondría un problema menor.

Así pues, ¿por qué no disponemos ya de energía segura de fusión? Porque todos estos extraordinarios avances se han realizado en Culham al ritmo que cabía esperar, es decir, han requerido su tiempo. La energía generada en reactores de fusión ha crecido durante los últimos veinte años a un ritmo superior al que los ordenadores han aumentado su velocidad y su capacidad. Ahora es ya casi tan grande como la que se necesitaría para iniciar la fusión, lo que significa que estamos muy cerca de producir un reactor de fusión nuclear que funcione. Se trata de un logro asombroso, y abandonamos Culham con la sensación de que el próximo gran reactor termonuclear, que está previsto que se construya en Francia, ya estará en condiciones de aportar electricidad a la red nacional. Será el prototipo de un número cada vez mayor de generadores de energía seguros y fiables.

Si en Kyoto hubiera tenido más influencia el pragmatismo de los científicos e ingenieros y menos el idealismo romántico de algunos, puede que pronto pudiéramos cosechar los beneficios de la energía de fusión nuclear. Tal como están ahora las cosas, incluso con buena voluntad, puede que tardemos otros veinte años hasta que esa energía empiece a calentar nuestras teteras o a alimentar nuestros ordenadores.

Energía de fisión

Igual que sucede con otras fuentes de energía, no voy a dar aquí información sobre la construcción de los diferentes tipos de cen-

trales nucleares o sobre los conceptos científicos que forman su base; lo que estoy exponiendo son los méritos de la energía nuclear como fuente de energía compatible con Gaia y las posibles cuestiones sobre su seguridad. Un excelente libro de W. J. Nuttall titulado *The Nuclear Renaissance* (2005), es un punto de partida magnífico para cualquiera que quiera saber más sobre la historia, las instalaciones y la política de la fisión o la fusión. Otra buena opción para empezar es una obra anterior de Walt Patterson, *Transforming Electricity* (1999).

A muchos de mis amigos ecologistas les sorprende el entusiasmo con que apoyo la energía nuclear y parecen creer que he cambiado de opinión hace poco. Eso no es cierto y una ojeada al capítulo segundo de mi primer libro *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la Tierra* (1979) o al séptimo capítulo de mi segundo libro *Las edades de Gaia* (1988), debería bastar para desmentirlo.

Una vez, en una entrevista de televisión, me preguntaron: «Pero ¿qué pasa con los residuos radiactivos? ¿Acaso no envenenarán la biosfera entera y tardarán millones de años en desaparecer?». Eso no es más que un miedo irreal sin ningún fundamento. La naturaleza daría la bienvenida a los residuos nucleares, pues son los guardianes perfectos para ahuyentar a los codiciosos promotores, y cualquier pequeño perjuicio que pudieran causar sería un precio mínimo a pagar por sus muchos beneficios. Una de las cosas más sorprendentes de los lugares muy contaminados por nucleidos radiactivos es la riqueza de su vida salvaje. Para comprobarlo, basta con observar las tierras que rodean Chernobyl, los lugares en los que se han realizado pruebas atómicas en el Pacífico o, en Estados Unidos, los alrededores de la planta de armas nucleares que desde la segunda guerra mundial hay en el río Savannah. Las plantas silvestres y los animales salvajes no perciben la radiación como algo peligroso, y cualquier pequeña

disminución de su esperanza de vida que pueda causarles es mucho menor que la derivada de la presencia de humanos y sus mascotas. Es fácil olvidar que ahora somos tan numerosos que prácticamente cualquier cosa que hagamos en cuanto a nuevos cultivos, explotaciones forestales o construcción de viviendas perjudica a la vida salvaje y a Gaia. La abundancia de vida salvaje en los lugares donde hay residuos nucleares nos indica que el mejor sitio para almacenarlos serían los bosques tropicales y otros hábitats que haya que proteger de granjeros o promotores hambrientos de espacio.

Una ventaja incomparable de la energía nuclear sobre los combustibles fósiles es lo fácil que resulta controlar los residuos que genera. Quemar combustibles fósiles produce 27.000 millones de toneladas de dióxido de carbono cada año, tantas, como he dicho más arriba, que si pudiéramos solidificarlas formarían una montaña de un kilómetro y medio de alto y veinte de circunferencia en su base. La misma cantidad de energía producida por reactores de fisión nuclear generaría dos millones de veces menos residuos, que se podrían almacenar en un cubo de dieciséis metros de lado. Los residuos en forma de dióxido de carbono son invisibles, pero tan letales que si no ponemos límite a sus emisiones acabarán por matarnos a casi todos. Los residuos nucleares enterrados en pozos en los puntos de producción de energía no suponen ninguna amenaza para Gaia y sólo son peligrosos para aquellos lo bastante insensatos como para exponerse a su radiación.

Se ha hablado mucho de enterrar el dióxido de carbono, pero nadie parece querer reconocer que se trata de una tarea de una dificultad extrema. ¿Cómo se va a recoger de la infinidad de puntos del mundo en que se produce? ¿Dónde vamos a poner esas montañas de dióxido de carbono que generamos anualmente? Me parece muy triste, aunque muy humano, que existan enormes aparatos burocráticos encargados de los residuos nucleares y grandes organizaciones dedicadas a desmantelar las centrales nucleares

que dejan de estar activas, y que, sin embargo, no exista nada comparable para lidiar con el dióxido de carbono, que sí es un residuo auténticamente peligroso.

Pero todo esto no basta para argumentar a favor de un mayor uso de la energía nuclear, porque la opinión pública está tan convencida de lo perjudicial que es que no se la puede hacer cambiar de opinión con argumentos directos. En lugar de ello, me he ofrecido públicamente a almacenar en mi propio pequeño jardín todos los residuos de alta intensidad que produzca durante un año una central nuclear. Ocuparían un espacio de aproximadamente un metro cúbico y se podrían albergar con seguridad en un pozo de hormigón. Además, utilizaría el calor que producirían sus elementos radiactivos residuales para calentar mi casa. Sería una lástima dejar que esa energía se perdiese. Y, lo que es mucho más importante, sé que no supondrían ningún peligro para mí, mi familia o la vida salvaje.

En el inacabable debate sobre la energía nuclear se suele pensar que el David antinuclear se enfrenta con valor al Goliat de la industria nuclear, pero esa imagen está lejos de la realidad. Los grupos de presión ecologistas son grandes y poderosos, mientras que la industria nuclear es minúscula comparada con las empresas petroleras o dedicadas al carbón, que sí son verdaderamente poderosas. Si se piensa un instante sobre la potencia y densidad de los combustibles fósiles en relación con los combustibles nucleares, se comprende por qué la industria nuclear es tan pequeña. Para producir la misma cantidad de electricidad se requiere un millón de veces más petróleo o gas que uranio. Como consecuencia, la industria nuclear no puede permitirse manifestaciones y anuncios pronucleares, lo que hace que sus argumentos casi nunca lleguen a la opinión pública.

Otro factor que ha contribuido a mantener la falsa imagen de los peligros de la energía nuclear es la reticencia de los científicos a hablar en público. Un buen científico sabe que no hay verdades absolutas y que todo es cuestión de probabilidades, mientras

que un activista antinuclear no se detiene en matices y pinta con brocha gorda. No es difícil darse cuenta de lo poco convincente que un científico bueno y honesto puede parecer en el ambiente hostil de un juzgado o de un debate televisivo. Especialmente si, como sucede muchas veces, el moderador pretende conseguir una distraída pelea en lugar de aburrida información.

Hay algo que todavía perjudica más a los científicos, y es el bajo estatus económico y social que tienen actualmente. El respeto y la independencia de la que gozaron Lavoisier, Darwin, Faraday, Maxwell, Perkin, Curie y Einstein es cosa del pasado. Casi ningún científico que trabaje en un laboratorio disfruta de la libertad que tiene, por ejemplo, un buen escritor. De hecho, sospecho que los únicos científicos a los que conocemos bien son aquellos capaces de escribir libros interesantes. Los que de verdad contribuyen al avance del conocimiento quedan en el anonimato. Los científicos más jóvenes no pueden expresar libremente sus opiniones sin perjudicar sus posibilidades de conseguir becas o publicar artículos. Más aún, pocos de ellos pueden seguir hoy ese camino extraño y azaroso que lleva a los grandes descubrimientos. No están limitados por tiranías políticas o teológicas, sino por las omnipresentes hordas de funcionarios que forman la gran tribu de cualificados pero obstrusivos cargos intermedios, y por los especialistas en seguridad que los acompañan.

¿Por qué se oponen tantos a la energía nuclear? ¿Cómo empezaron esos miedos infundados? Creo que se remontan a la segunda guerra mundial, cuando el presidente Truman —el hombre que dijo que tomar decisiones difíciles era aquello en lo que consistía su cargo— tuvo que tomar la terrible decisión de lanzar la recién creada bomba atómica sobre una ciudad japonesa o limitarse a demostrar el asombroso poder de esa arma al ejército japonés.

Que se usara para destruir Hiroshima y Nagasaki hizo nacer una percepción totalmente nueva de todo lo referente a lo nu-

clear. Ya no podíamos verla como un don increíble de energía no contaminante, porque nuestra mente estaba paralizada por el temor a una guerra nuclear, un miedo que no nos ha abandonado todavía. Puede que hubiéramos sido capaces de entender más claramente sus ventajas si Estados Unidos no hubiera tratado de ocultar información sobre ella como si fuera propietaria de un secreto y si la polarización política no hubiera cristalizado en una guerra fría entre el capitalismo, representado por Estados Unidos, y el comunismo, representado por la Unión Soviética, que no tardó mucho en desarrollar sus propias bombas atómicas. Pronto se inició una carrera armamentística nuclear con misiles cada vez más potentes. Muchos temimos que, si estallaba una nueva guerra, serían aniquilados no sólo los combatientes, sino la civilización. Fue con el mundo sumido en esta patología, desgarrado por enfrentamientos febriles como la crisis de Cuba, cuando empezaron las protestas antinucleares.

En *Nuclear Renaissance*, Nuttall ofrece el mejor relato que he leído hasta la fecha del surgimiento y desarrollo del sentimiento antinuclear en las democracias occidentales.

La oposición real a la energía nuclear en la sociedad nació en las décadas de 1970 y 1980. Podría argumentarse que fue consecuencia de la emergencia de grupos de presión y de la cultura juvenil. Es decir, que igual que las manifestaciones contra la guerra de Vietnam de finales de la década de 1960 se desarrollaron a partir de las anteriores manifestaciones en pro de los derechos civiles, las manifestaciones antinucleares de finales de la década de 1970 surgieron directamente de las protestas contra la guerra de Vietnam una vez hubo acabado este conflicto. Ésta, sin embargo, es una perspectiva muy norteamericana de la erosión del entusiasmo por la energía nuclear. En Gran Bretaña, los acontecimientos sociopolíticos clave son los relacionados con la Campaña por el Desarme Nuclear (CND) de finales de la década de 1960 y que resurgió a principios de la década de 1980. La CND no sólo fue apasionadamente antinorteameri-

cana sino que también fue muy divertida y estuvo muy en la onda. Esa fusión de la cultura popular con el movimiento antinuclear de finales de la década de 1960 fue captada en todo su esplendor por el tío de quien escribe, Jeff Nuttall, en su visceral autobiografía *Bomb Culture*: «Las protestas eran siempre festivas.» Este importante aspecto del tema nuclear sólo se ha atenuado un poco con el paso de las décadas. Los que defienden el renacimiento nuclear corren el riesgo de ignorarlo.

Coincido con Nuttall. Es fácil comprender por qué tantos ecologistas están tan en contra de la energía nuclear: a menudo son hijos del matrimonio entre ecologismo y CND.

Antes de que, a finales de la década de 1950, la guerra fría se intensificase, había grandes esperanzas de que la energía nuclear fuese positiva, y nos ayudase a construir una civilización más decente. En el Reino Unido, una de las naciones europeas en las que nació la ciencia de la fisión nuclear en la década de 1930, nuestra reina inauguró la primera central nuclear del mundo en Calder Hall en 1956. Fue un acontecimiento recibido con alegría prácticamente en todas partes. La euforia no duró mucho. La guerra fría subió de intensidad y las dos superpotencias probaban armas cada vez más potentes. Con ello, se extendió el miedo a todo lo nuclear. Este período de locura culminó en 1962, cuando se hicieron pruebas nucleares con bombas de hidrógeno veinte mil veces más potentes que la lanzada sobre Hiroshima. Las superpotencias hacían temblar la Tierra para demostrar lo fuertes que eran. Y lo eran lo bastante como para que la destrucción mutua estuviera asegurada en caso de conflicto. Por demente que esta lógica pueda parecer, demostraron que cada una de ellas poseía la capacidad de destruir la civilización.

Estas gigantescas explosiones tuvieron consecuencias interesantes. Liberaron tanta radioactividad en la atmósfera como hubieran generado dos desastres como el de Chernobyl cada semana durante todo un año. Los vientos de la estratosfera espar-

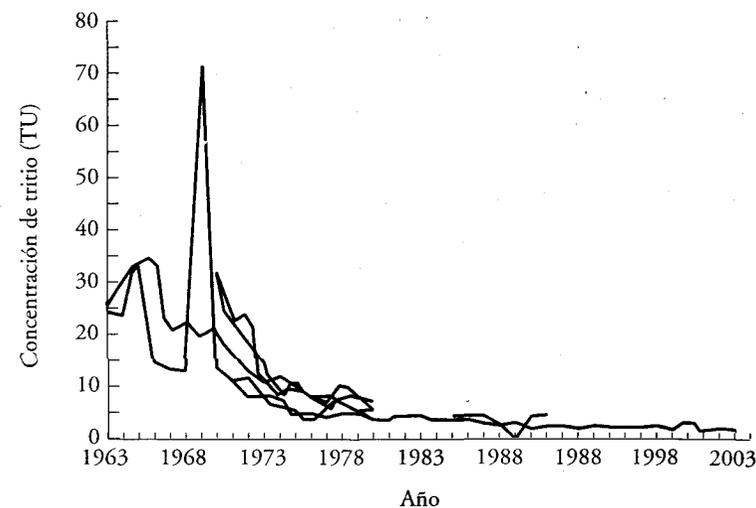
cieron restos radioactivos por todo el mundo y todos nosotros respiramos o tragamos, productos de la fisión como el cesio 137, el estroncio 90 y plutonio, que no detonó. En poco tiempo se pudo comprobar que había isótopos de estroncio en los huesos de prácticamente todo el mundo. Sea cual fuera el daño que esas pruebas y sus residuos causaron a los humanos, no hay ningún indicio ni ninguna teoría que sugiera que contuvo el progresivo aumento de nuestra esperanza de vida. Hoy vivimos más tiempo que nunca. De hecho, los gobiernos europeos están preocupados por cómo pagarán la pensión a su ciudadanía anciana. Puede confortarnos pensar que aquellas explosiones, que produjeron tanta radiación como la que hubiera generado una guerra nuclear de intensidad media, no supusieron una gran amenaza para la Tierra ni para la salud o el bienestar de sus habitantes.

Un beneficio inesperado de esas pruebas fue que aportaron a los científicos especializados en el planeta un abanico de elementos radiactivos que utilizar como indicadores para seguir los grandes ciclos naturales del sistema Tierra. Gracias a ellas hoy hemos ampliado mucho nuestro conocimiento de Gaia. El cuadro 6 ilustra la extendida contaminación radioactiva, que abarca todo el planeta, y que procede casi en su totalidad de las pruebas atómicas realizadas durante el último tercio del siglo xx.

La facilidad con la que se puede detectar y medir hasta el menor rastro de radioactividad ofreció a los activistas antinucleares cifras con las que mostrar que el «veneno» generado por las pruebas había alcanzado todos los rincones del mundo. Estos activistas ignoraron la famosa máxima de Paracelso: «El veneno es la dosis», además del hecho de que nosotros mismos somos de forma natural mucho más radioactivos que la dosis que se supone que absorbimos a causa de las pruebas. Las cifras eran hechos y los medios no dudaron en usarlos para asustarnos con sus noticias sensacionalistas. Quizá hicieron bien, pues contribuyeron a que se reconsiderasen las pruebas nucleares y se les pusiera freno. En 1992 una moratoria acabó con todas ellas.

CUADRO 6

Radioactividad atmosférica, representada por el tritio, desde 1963, año en que se llevaron a cabo varias grandes pruebas nucleares



Entre los que quedaron conmocionados por esas demostraciones de ambas superpotencias de que podían destruirse mutuamente, y de paso acabar con la civilización, estaba el novelista Neville Shute. Su libro *On the Beach* (1961) tuvo un impacto casi termonuclear, pues presentó una Tierra totalmente destruida por la radiación nuclear. Era una historia bien contada, completamente ficticia, pero que convenció a muchos de que cuanto tuviera que ver con lo nuclear era letal. Entre los convencidos estuvo la pediatra australiana Helen Caldicott, que se convirtió en la defensora más destacada y eficaz del movimiento antinuclear internacional. Su labor la llevó a conseguir el Premio Nobel de la paz, lo que concedió a sus opiniones sobre la energía nuclear una enorme autoridad. En *Nuclear Madness* (1994), escribió:

Como médico, sostengo que la tecnología nuclear amenaza con extinguir la vida en nuestro planeta si continúa la tendencia ac-

tual; la comida que consumimos y el agua que bebemos pronto estará contaminada con tanta radioactividad que supondrá una amenaza para nuestra salud mucho mayor que cualquier plaga que la humanidad haya sufrido hasta ahora.

La tremenda exageración de Helen Caldicott es excusable si se comprende que estaba orientada a impedir una guerra nuclear entre las dos superpotencias. Pero ése fue un problema del siglo xx, el problema al que nos enfrentamos ahora es mucho más grave: el retorno a una edad caliente en la Tierra. Irónicamente, si eso llega a suceder, los activistas antinucleares habrán contribuido decisivamente a ella.

Durante décadas se tuvo un miedo cerval a la guerra nuclear. Se escribieron muchas novelas y relatos que competían entre sí para retratar de forma a cuál más horrible la pesadilla nuclear. Hollywood se sumó al fenómeno con su absurda forma de simplificar y poner cosas de moda, lo que está perfectamente ejemplificado en la película *El síndrome de China*. En ella, un reactor mal construido tiene una avería desastrosa y un personaje en la película imagina que su núcleo de fisión se abre camino hasta el centro de la Tierra fundiendo todo a su paso y luego continúa avanzando milagrosamente hasta emerger en China. Es una idea totalmente absurda, incluso como metáfora, pero consiguió instilar miedo y pánico en el público y preparó la escena para una cadena de desinformación y mentiras. Pocas semanas después, ese pánico se vio amplificado por un accidente en la central nuclear de Three Mile Island, en Pennsylvania. A pesar de lo que usted pueda haber oído, el aislamiento del reactor funcionó como debía y nadie, ni dentro ni fuera de la central, sufrió daño alguno.

Como un rayo de luz que atraviesa las tinieblas de las malas ficciones y las pésimas ideas, la maravillosamente perversa comedia *Doctor Strangelove o cómo aprendí a dejar de preocuparme y a amar la bomba* contribuyó a que recuperásemos nuestro sentido

del humor y nuestro equilibrio mental. Sin duda, la película fue muy injusta con Edward Teller, el doctor Strangelove real, padre de la bomba de hidrógeno. Su autobiografía revela que fue un hombre bueno y pacífico, extrañamente parecido a su equivalente soviético, Andrei Sajarov. Pocos recuerdan ahora que Teller trató de convencer a su gobierno de que no lanzara la primera bomba atómica sobre una ciudad japonesa.

Las bombas nucleares de Nagasaki e Hiroshima son casi de juguete comparadas con las cargas explosivas que llevan los actuales misiles de largo alcance. Cada una de esas cargas contiene un racimo de pequeñas bombas teledirigidas hacia objetivos distintos y con un poder explosivo de un megatón, que equivale a unas sesenta y seis bombas como la de Hiroshima. Una sola de esas pequeñas bombas es lo bastante potente como para destruir una gran ciudad. No puedo llegar a imaginarme lo que sería utilizar esas armas con afán de destrucción, pero una visita a Hiroshima y su museo nos da una idea de lo que podría pasar. Nunca olvidaré lo que sentí al ver cómo la luz de una explosión de sólo quince kilotones iluminó y cauterizó la ciudad bajo ella hasta tal punto que las siluetas de las personas que estaban de pie o sentadas se quedaron impresas en la superficie de las paredes de piedra que había tras ellos. Nuestro temor a las armas nucleares está fundamentado. Quizá su única virtud sea que asustaron lo bastante a los líderes de las superpotencias como para garantizar que la guerra fría siguiera siendo fría mientras duró.

Es natural temer también al cáncer que fue la consecuencia a largo plazo para aquellos que escaparon a la muerte inmediata o sobrevivieron a las heridas provocadas por el calor y la explosión. Hasta la fecha, sesenta años después de que se lanzaran las bombas sobre Japón, entre los supervivientes de Hiroshima el cáncer tiene una incidencia un siete por ciento mayor que entre la población japonesa en general. En los países ricos del primer mundo las principales causas de muerte entre la población son las enfermedades coronarias, las embolias y el cáncer, tres patologías

consecuencia de crecer en una atmósfera rica en oxígeno. Que casi el treinta por ciento de nosotros vayamos a morir de cáncer es un sombrío aviso de su incidencia. Es importante tener presente que cualquier incremento del cáncer atribuible a la actividad nuclear desarrollada desde la segunda guerra mundial resulta todavía demasiado pequeño para poder ser detectado dentro de las fluctuaciones del ritmo natural de muerte por cáncer a escala global.

Los miedos al cáncer y a la guerra nuclear se hermanaron y ahora son omnipresentes en el mundo desarrollado. En el mundo menos desarrollado, donde la muerte es más frecuente y llega por exceso de trabajo, malnutrición o enfermedad, como es lógico, el miedo a la radiación es mucho menor. No tiene sentido pensar en el cáncer o temerlo cuando la esperanza de vida es sólo de cuarenta años, y cuando pocos experimentan la prolongada tristeza de ver a amigos o parientes enfrentarse a esa enfermedad, especialmente ahora que el Sida hace que las tragedias personales sean cosa común.

Muchas naciones de Europa oriental que formaron parte del imperio soviético se aferran a sus centrales nucleares a pesar de vivir bajo la sombra de Chernobyl. Creen que los beneficios de la energía nuclear superan con mucho sus supuestos problemas. El miedo sólo es mayoritario en el consentido y mimado mundo desarrollado, donde existe la posibilidad de vivir hasta los noventa años o todavía más. En este mundo se emplea tiempo y dinero a espuestas para tratar de curar el cáncer e intentar ampliar la esperanza de vida. A mis ochenta y seis años, no me conmueve ese esfuerzo por tratar de vivir tanto. Admito que si pudiera mantenerme sano y capaz de pensar al menos tan bien como ahora, sería agradable poder llegar a los cien años o incluso más. Pero una buena vida no se mide por los años que dura, sino por la intensidad de lo que se ha gozado y por las buenas consecuencias de esa existencia.

Lo irónico de este asunto es que nosotros, el mundo desa-

rollado, somos los principales contaminantes, la gente más destructiva de todo el planeta, y aunque tenemos el dinero y los medios para evitar que la Tierra cruce el umbral letal que hará el cambio global irreversible, estamos atenazados por el miedo.

Chernobyl y la seguridad de los reactores nucleares

Franklin Roosevelt, al tomar posesión de su cargo en 1933, pronunció una frase que se ha hecho célebre: «No tenemos nada que temer excepto al propio miedo.» La mayoría de nosotros tenemos miedos irracionales que reptan en el fondo de nuestra mente y nos provocan escalofríos. Los míos son sobre enormes riadas de aguas fangosas, ver y oír una gigantesca pared de agua abalanzarse sobre mí, algo moviéndose tan rápido que no tengo posibilidad de escapar. Me digo a mí mismo que es un temor infundado. Vivimos lo bastante alto y lo bastante lejos del mar como para que ni un tsunami excepcionalmente potente alcance mi casa, y en el río que pasa cerca de donde vivo no hay grandes presas, llenas con miles de hectómetros cúbicos de agua que puedan romperse. Pero aun así, esa escena de pesadilla se introduce en mis sueños, de modo que comprendo perfectamente que muchos puedan tener un temor similar a una catástrofe nuclear; un temor que ninguna explicación razonable será capaz de eliminar.

Necesitamos de inmediato fuentes de energía que no produzcan emisiones contaminantes y no hay ninguna alternativa seria a la fisión nuclear. Así pues, ¿cómo podemos superar nuestro miedo? Tomando por ejemplo mi propio temor irracional, puede resultarnos útil comparar los peligros a los que se enfrentarían dos familias, una que viviese ciento cincuenta kilómetros río abajo de la gran presa de las Tres Gargantas, en el Yangtzé, en China —un ejemplo perfecto de una fuente de energía renova-

ble potente y práctica— y otra que viviese a ciento cincuenta kilómetros a sotavento de la central nuclear de Chernobyl, el peor ejemplo posible de la peor tecnología nuclear.

Si la presa se rompiese, bajo la enorme masa de agua que descendería rugiendo por el curso del río, morirían hasta un millón de personas. Cuando la central de Chernobyl sufrió una explosión de vapor y un subsiguiente incendio, y liberó buena parte de su radioactividad a los vientos que soplaban del este, los productos de aquella explosión alcanzaron buena parte de Ucrania y de Europa. Muchos creen que no sólo decenas de miles, sino millones de personas, murieron a consecuencia del accidente de Chernobyl. Como pronto veremos, no produjo más de setenta y cinco bajas.

Nunca he visto derrumbarse una presa, ni experimentado el terror que debe de producir presenciárselo, pero sí he estado en una nube de nucleidos radioactivos procedentes de un escape causado por un incendio en un reactor nuclear. Sucedió en 1956, cuando el reactor militar de Windscale, en Cumbria, se incendió y liberó una parte importante de su actividad acumulada al viento del norte, que lo esparció hacia el sur de Inglaterra. En aquellos tiempos, trabajaba como científico en el Instituto Nacional de Investigación Médica en el norte de Londres. A partir del isótopo radioactivo yodo 131, trataba de descubrir más sobre la naturaleza de la membrana que envuelve los glóbulos rojos humanos. Cuando procedí a realizar mi medición, me preocupó descubrir que mi primitivo y casero detector Geiger registraba una radiación beta de fondo a un nivel mucho mayor del que yo esperaba de mis muestras, lo que hacía que mis mediciones fueran imprecisas o imposibles. Lo primero que pensé fue que mis temperamentales instrumentos no funcionaban bien, y ya estaba revisándolos cuando un colega, el doctor Tata, entró en mi laboratorio y me preguntó si estaba teniendo problemas con las mediciones de I_{131} . Él y otro científico del instituto habían descubierto también que las mediciones de fondo estaban muy por encima de sus niveles habituales. El yodo es un elemento vo-

látil, y me pregunté si alguno de nosotros tres habría derramado sin querer algo de yodo radioactivo o habría cometido la imprudencia de vaciarlo en la pileta del laboratorio. Una comprobación rápida nos convenció de que había I_{131} por todo el edificio. Nos sentimos atribulados y culpables, aunque no sabíamos exactamente por qué. Hasta casi veinte años después, durante una visita al instituto de la Autoridad de la Energía Atómica en Harwell, cerca de Oxford, no me enteré del incendio que se había producido en Windscale y de la nube de residuos radioactivos que había contaminado la mayor parte de Inglaterra. En 1956, el año en que se produjo el incendio, el gobierno pudo evitar que la fuga llegara a las noticias. Tenían la excusa de que el reactor en cuestión formaba parte del programa de armas nucleares y, por tanto, estaba amparado por el secreto oficial. Los asustadizos grupos de presión ecologista, y los medios de comunicación sensacionalistas perdieron una magnífica oportunidad de darnos un susto de muerte a todos.

Hasta donde yo sé, nadie ha informado de ninguna muerte o incidencia especial de enfermedades que puedan haber procedido de la exposición de tantos millones de personas a 740 billones de becquerels de I_{131} . En el Reino Unido los archivos del Servicio Nacional de Salud son muy precisos, con lo que cualquier aumento de la incidencia del cáncer se hubiera detectado de inmediato. El escape sólo fue peligroso para los que estuvieron en el lugar en que se produjo: los bomberos y los trabajadores de la planta.

Pero eso no puede ser cierto, dirá usted. Medios respetables, como por ejemplo el *Times* o la BBC han afirmado repetidamente que más de treinta mil personas han muerto en Europa y Rusia a consecuencia de la exposición a la radiación del accidente de Chernobyl. Yo prefiero escuchar a los médicos y radiobiólogos de la Organización Mundial de la Salud de Naciones Unidas (OMS), que examinaron a los habitantes de la zona contaminada por la nube radioactiva catorce y diecinueve años des-

pués del accidente, y sólo encontraron pruebas de que hubieran muerto cuarenta y cinco y setenta y cinco personas, respectivamente, a causa del accidente. Se trataba de trabajadores de la central, bomberos y otros que valientemente lucharon contra el fuego en el reactor, lograron extinguirlo y realizaron luego su posterior limpieza.

Así pues, ¿de dónde proceden todas esas afirmaciones de la enorme mortandad causada por Chernobyl? Surgen de malinterpretar de forma perversa la ciencia de la radiobiología.

A través de precisas investigaciones y de una cuidadosa recopilación de datos, los epidemiólogos han podido establecer una conexión directa entre la dosis de radiación recibida y la muerte por cáncer. Sus datos proceden de las experiencias de los japoneses expuestos a la radiación de la bomba atómica lanzada sobre Hiroshima, del uso de la radiación en medicina para tratamientos y diagnósticos, y de los historiales de los radiólogos y trabajadores expuestos a radiación durante su vida laboral. El Comité Científico de Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR) publicó un informe en 2000 que resume todas las pruebas recopiladas hasta entonces y concluye que la hipótesis de que existe una relación directa y lineal entre la radiación y sus daños es la que mejor se adecúa a los datos que tenemos. De sus conclusiones, podemos deducir que exponer a la población entera de Europa a una radiación de diez milisieverts, más o menos la cantidad equivalente a cien radiografías, causaría cuatrocientos mil muertos.

Dicho así, parece que el riesgo es enorme, pero se trata de una forma increíblemente ingenua de presentar los hechos. El asunto no es si moriremos sino *cuándo* moriremos. Si esas cuatrocientas mil personas murieran una semana después de la irradiación estaríamos hablando de una catástrofe terrible, pero ¿y si todas esas personas vivieran sus vidas con normalidad pero muriesen una semana antes de lo esperable? Las investigaciones en radiobiología afirman que una exposición a diez milisieverts de

radiación reduce la esperanza de vida humana en cuatro días. Es una conclusión mucho menos espectacular. Usando los mismos cálculos, la exposición de todos los que viven en el norte de Europa a la radiación de Chernobyl reducirá su esperanza de vida entre una y tres horas. Como punto de comparación, alguien que haya fumado desde joven, perderá siete años de vida.

No es sorprendente que los medios y los activistas antinucleares prefieran hablar del riesgo de muerte por cáncer. Resulta una historia mucho más atractiva que la pérdida de unas pocas horas de esperanza de vida. Si definimos una mentira como una proposición enunciada intencionalmente para engañar, la continua repetición de la enorme cantidad de muertes causadas por el desastre de Chernobyl es una gran mentira.

Es muy posible que Chernobyl les haya costado a algunos habitantes de Ucrania y Bielorrusia varias semanas de esperanza de vida. Hubiera sido muy distinto si hubieran vivido en la llanura fluvial de un río y una presa hubiera reventado. Habrían perdido toda su esperanza de vida. Esa forma de energía renovable puede resultar mucho más dañina que la nuclear.

El Instituto Paul Scherrer de Suiza realizó en su informe de 2001 una estimación muy fundamentada y sólida de la seguridad de las diferentes fuentes de energía. Examinaron todas las fuentes de energía a gran escala del mundo para comparar su historial de seguridad. Expresaron el peligro en términos del número de muertes entre 1970 y 1992 por teravatio año (tw) de energía fabricado (un teravatio año es un billón de vatios de electricidad fabricados y usados continuamente durante un año). La tabla de la página siguiente muestra los resultados de su investigación.

Me quedé atónito cuando vi que habían demostrado que la energía nuclear era la más segura de todas las fuentes de energía a gran escala. Las cifras de los suizos la dan como unas cuarenta veces más segura que la quema de combustibles fósiles e incluso más segura que la energía hidroeléctrica. Y, sin embargo, las

TABLA 1
**Muertes en la industria de producción de energía
entre 1970 y 1992**

combustible	muertes	quiénes	Muertes por tw
Carbón	6.400	Trabajadores	342
Gas natural	1.200	Trabajadores y público	85
Hidroeléctrica	4.000	Público	883
Nuclear	31	Trabajadores	8

mentiras sobre la energía nuclear han calado tan hondo que todavía creemos que producir energía en un reactor de uranio es más peligroso que quemar combustibles fósiles en el oxígeno del aire.

La constante distorsión de la verdad sobre los riesgos que representa para la salud la energía nuclear nos obliga a preguntarnos si no será también falso todo lo demás que nos han contado sobre ella. Me pregunto, por ejemplo, si es cierta la afirmación que hizo en agosto de 2005 la autoridad de decomisos nucleares relativa a que costaría 8.500 millones de euros retirar las existencias de plutonio del Reino Unido, gasto que formaría parte de un paquete de 80.000 millones de euros destinado a dismantelar las instalaciones nucleares del Reino Unido. Es verdad que el plutonio es un elemento nocivo y que siempre existe el riesgo de que lo roben para construir armas nucleares, pero la reserva de plutonio en el Reino Unido es el equivalente energético a varios millones de toneladas de carbón o petróleo, y basta para mantener en funcionamiento las centrales nucleares británicas durante varios años. Me parece increíble que nuestro gobierno y sus asesores contemplan esta abundante reserva de energía nuclear de nuestras centrales como algo que debe dismantelarse o decomisarse. Todavía más increíble me parece que estén dispuestos a pagar más de ocho mil millones de euros para

hacerlo. El petróleo cuesta hoy cincuenta dólares el barril: a ese precio, y en términos energéticos, la reserva de plutonio del Reino Unido vale más de ciento cincuenta mil millones de euros. Todo se está haciendo con nocturnidad y alevosía: nunca se nos ha preguntado si estamos dispuestos a pagar ese enorme coste.

Otra idea errónea que circula es que en el planeta queda tan poco uranio que sólo nos durará unos pocos años. Es cierto que si todo el mundo optara por el uranio como su único combustible las reservas de uranio de fácil extracción se agotarían pronto. Pero el uranio de bajo grado es extremadamente abundante. El granito, por ejemplo, contiene bastante uranio como para hacer que su potencia como combustible sea cinco veces superior a la de una masa equivalente de carbón. La India ya está preparándose para utilizar sus grandes yacimientos de torio, un combustible nuclear alternativo, en lugar del uranio.

La mezcla adecuada de fuentes de energía

Mi defensa a ultranza de la energía nuclear se debe a una sensación creciente de que cada vez nos queda menos tiempo para conseguir un suministro fiable y seguro de electricidad. En pocos lugares es más cierto que en el Reino Unido y en otras varias naciones de Europa. No creo que la energía nuclear sea la panacea, sino que la imagino formando parte de una cartera de fuentes de energía. De cara al futuro inmediato, empezando desde hoy mismo, necesitamos explotar la energía de fisión como medida temporal mientras ganamos tiempo para que, tras haber servido a nuestros propósitos, pueda ser reemplazada por energía limpia de otro tipo. Entre éstas se encontrarán las energías renovables, la energía de fusión y la quema de combustibles fósiles en condiciones en las que los efluvios de dióxido de carbono puedan ser aislados, preferiblemente en forma de un sólido inerte,

como el carbonato de magnesio. La principal consideración debe ser el tiempo. La energía nuclear está disponible de forma inmediata, y tendríamos que empezar a construir nuevas centrales sin más demora. Todas las alternativas posibles, incluida la energía de fusión, necesitan todavía décadas de investigación y desarrollo antes de poder ser empleadas a escala suficiente como para que su uso se traduzca en una reducción de las emisiones. En unos pocos años, las energías renovables nos proporcionarán mayor cantidad de energía libre de emisiones, en su mayor parte gracias a la energía eólica, pero hablamos de una cantidad de energía insignificante comparada con el potencial de la energía nuclear. Hasta 2008, momento en que empezarán los cierres, la capacidad de generación de electricidad de la energía nuclear del Reino Unido es de 14.000 megavatios, lo que supone sólo el 21 por ciento del total de nuestra producción de electricidad. Para reemplazar lo que obtenemos de las centrales nucleares con energía eólica necesitaríamos 56.000 turbinas de un megavatio apoyadas en todo momento por generadores a base de combustibles fósiles con capacidad para 10.500 megavatios, preparados para los muchos momentos en que el viento es demasiado débil o demasiado fuerte. A menos que se produzcan cambios drásticos en nuestro modo de vida, tendremos que continuar utilizando combustibles fósiles durante varias décadas. El 30 por ciento de la energía que utilizamos actualmente la consume el transporte y, siendo realista, hay muy pocas probabilidades de que los efluvios de dióxido de carbono de coches, camiones, trenes y aviones puedan ser aislados y enterrados.

La superpotencia virtual de Europa, Francia-Alemania, ha conseguido lo mejor de ambos mundos con su mitad francesa totalmente nuclear y su mitad alemana completamente verde. Sería una solución buena y adecuada si no fuera porque Alemania trata de que el resto apoyemos su industria comprándoles sus turbinas de viento.

Mientras tanto, en los centros de todo el mundo que contro-

lan el clima, el barómetro sigue bajando y advirtiendo del peligro inminente de una tormenta climática de una magnitud como la Tierra no ha conocido en los últimos cincuenta y cinco millones de años. Aun así, en las ciudades la fiesta continúa como si nada. ¿Cuánto tiempo más vamos a dejar pasar antes de enfrentarnos a la realidad?

Productos químicos, comida y materias primas

Como mínimo el 90 por ciento de los habitantes del primer mundo vivimos en ciudades o en las áreas suburbanas que las rodean. Incluso pasamos nuestras vacaciones en los centros turísticos urbanizados que han proliferado en casi todos los rincones de la Tierra. Y no sólo eso, sino que hoy casi nadie pasea por el campo por gusto. Hay paisajes que todavía son bonitos, aunque la mayoría de las tierras sean campos vallados con alambre de espino que encierran los desiertos de monocultivos industriales o barrizales infranqueables en los que se hacían vacas u ovejas. Éste no es el estado natural del campo. Los nacidos antes de 1950 recordarán lo espléndido que fue y puede volver a ser. Dado que nuestras vidas son absolutamente urbanas, la democracia comporta la elección de gobiernos que han perdido casi totalmente el contacto con la naturaleza.

Sandy y yo acostumbramos a pasear por las pocas zonas silvestres que quedan en la región del sudoeste de Inglaterra en la que vivimos. Disfrutamos particularmente del sendero que sigue la costa durante mil kilómetros desde Minehead, en Somerset, pasando por Land's End, hasta Poole, en Dorset. Ni siquiera en verano nos cruzamos con muchos paseantes, y la mayoría de los que vemos no se alejan más de unos cien metros de los aparcamientos que hay a lo largo del sendero, y muchas veces no son

tanto paseantes como gente que utiliza el sendero como retrete para perros. Sin embargo, el paisaje que se ve desde el sendero entre Poole y Lyme Regis es tan maravilloso que ha sido catalogado como Patrimonio de la Humanidad y bautizado como Costa Jurásica, porque los acantilados son secciones de rocas que formaron parte de la superficie en tiempos de los dinosaurios. Los fósiles de este emocionante período están a la vista en las playas de Charmouth y Kimmeridge.

No es extraño que la obesidad se haya convertido en una plaga. Engordamos y morimos de enfermedades metabólicas como la diabetes, las embolias o los infartos, producidas tanto por comer en exceso como por la falta de ejercicio. Consideren cuántos niños van caminando a la escuela o se apartan lo suficiente de las luces de la ciudad como para ver las estrellas brillando en el cielo como joyas esparcidas sobre un manto de terciopelo negro, u oyen un cuco cantar en primavera. Los gobiernos son conscientes de que puede que haya algo pernicioso en cómo vivimos y por eso tienen departamentos y ministerios dedicados al medio ambiente. Pero si los examinamos de cerca descubrimos que se encargan sobre todo de carreteras, alcantarillado y planificación de nuevas ciudades. Se toma en cuenta la naturaleza, pero sobre todo como tierras «infraexplotadas» en las que ubicar plantas eólicas, cultivos industriales, pantanos y las demás infraestructuras a gran escala que necesitan los que viven en las ciudades.

Con esas prioridades y ese estilo de vida, no es sorprendente que el mundo natural de Gaia les parezca algo extraño a los muchos que apenas saben nada sobre el gran sistema Tierra que ha mantenido durante eones el planeta en estado óptimo para la vida. La única vez que vemos el mundo no humano es vicariamente, a través de la televisión en los reportajes de vida salvaje, o cuando los astronautas comparten con nosotros su visión de la Tierra desde el espacio.

Nadie en su sano juicio aceptaría ser operado de apendicitis por un novato que sólo sabe de cirugía lo que ha leído en libros

o visto en documentales de televisión y que nunca en su vida ha tocado un escalpelo. ¿Por qué entonces confiamos en que ecologistas urbanos asesoren correctamente a nuestro gobierno electo sobre leyes que contribuyan a mejorar el bienestar de nuestro planeta? Sus intenciones, igual que las del cirujano novato, son buenas, pero la ejecución acostumbra a ser desastrosa cuando no perjudicial. Por supuesto, todavía sentimos compasión por la vida salvaje y una punzante nostalgia de un modo de vida más sencillo. En cualquier supermercado se ve que los consumidores prefieren comida orgánica, huevos de granja y productos cuyas etiquetas dicen que están libres de contaminación química. Ya no usamos atomizadores con CFC y compramos y conducimos coches menos contaminantes. Creemos que comprendemos lo que sucede y, en algunos países, los partidos ecologistas cuentan con bastantes votos como para influir en los gobiernos.

Sí, hacemos todo eso y nuestras intenciones son buenas, pero no es ni de lejos suficiente, y a menudo el resultado es todavía peor que si no hiciéramos nada. Este capítulo examina algunos de los tremendos errores cometidos en nombre del ecologismo durante los cuarenta años que han transcurrido desde que se publicó *Primavera silenciosa*, de Rachel Carson, mostrando lo que ha sido para bien y dónde nos equivocamos.

Pesticidas químicos y herbicidas

Rachel Carson defendió convincentemente que el uso no regulado de pesticidas en la agricultura estaba llevando a la muerte generalizada de las aves. Mostró cómo los pájaros que comían insectos envenenados con pesticidas sufrían las consecuencias y expresó su preocupación por que finalmente, la mortandad entre los pájaros podía llegar a ser tan grande que la primavera sería silenciosa. En la mayor parte del mundo, los pesticidas a los que se refería Carson han sido prohibidos o su aplicación se controla estricta-

mente. La mayor parte de la comida que se cultiva y de la carne que se sacrifica en los mataderos pasa controles para detectar residuos de pesticidas y la legislación para eliminarlos funciona bien.

Carson criticó especialmente el abuso de pesticidas químicos y sospecho que los inocentes estudiantes, con el socialismo natural de la juventud, creen que el DDT fue inventado por algún empleado de una gigantesca empresa química dirigida por codiciosos capitalistas que sólo buscaban el beneficio. De hecho, las propiedades insecticidas del DDT fueron descubiertas por el profesor Paul Herman Muller en 1939. Le dieron, con toda justicia, el Premio Nobel por su descubrimiento, que salvó más vidas que cualquier otro producto químico inventado anteriormente. Muller fue un buen hombre, que donó el dinero del Premio Nobel a sus estudiantes, un gesto muy poco habitual en un profesor. Y, sin embargo, Carson, sin pretenderlo, lo demonizó. Es importante que tengamos presente la historia del DDT. Originalmente se usó para prevenir las enfermedades que transmitían los insectos y palió en gran medida la epidemia de tifus que asoló Nápoles tras el fin de la segunda guerra mundial. Luego se utilizó contra mosquitos, transmisores de malaria, fiebre amarilla y otras enfermedades tropicales. Hasta su prohibición salvó millones de vidas al año y mejoró la calidad de vida de los cientos de millones de personas que vivían en las regiones afectadas por esas enfermedades. Usándolo para esos fines, suponía un peligro muy pequeño para la vida salvaje. El DDT y otros insecticidas se convirtieron en una amenaza para el medioambiente sólo después de que los cultivos industriales empezaran a usarlo a gran escala para mejorar el rendimiento de los mismos. Es obvio, pues, que era necesario establecer algún tipo de control, pero la prohibición del DDT y de otros insecticidas organoclorados fue un acto egoísta y erróneo llevado a cabo por radicales del primer mundo. Los habitantes de los países tropicales han pagado un alto precio en muertes y enfermedad por no poder utilizar el DDT para controlar la malaria.

Yo fui más que un mero espectador de todos estos acontecimientos, primero como inventor de un instrumento extraordinariamente sensible, el detector de captura de electrones (ECD), que podía detectar rastros infinitesimales de pesticidas como el DDT, y segundo, como asesor científico de lord Rothschild, entonces coordinador científico de la empresa Shell, uno de los principales productores de DDT, Dieldrin y otros pesticidas químicos.

Lord Rothschild era también un distinguido biólogo y miembro de la Royal Society. Él y yo formamos parte de los pocos científicos del mundo que, en esos tiempos, habían investigado la biofísica de los espermatozoides, y fue ése el tema el que hizo que nos conociéramos. No olvidaré jamás su dolor e ira al leer el libro de Rachel Carson y sufrir la tormenta mediática que le siguió. Como naturalista, le destrozó descubrir el daño que su empresa había causado sin saberlo y le enfureció la politización de lo que, en su opinión, podía haberse resuelto de forma civilizada.

Debemos comprender que la «primavera silenciosa» no procedía simplemente del envenenamiento por pesticidas; los pájaros morían porque ya no había espacio para ellos en nuestro mundo intensivamente cultivado. Hay tantos humanos que desean vivir como se vive actualmente en el primer mundo, que estamos echando del planeta a nuestros socios, las demás formas de vida. Hay que entender que la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero es sólo parte de lo que tenemos que hacer; también debemos dejar de usar la superficie de la Tierra como si fuera sólo nuestra. No lo es: pertenece al conjunto de ecosistemas que prestan servicio a toda la vida regulando el clima y la composición química de la Tierra.

No pido disculpas por repetir que Gaia es un sistema evolucionario en el que cualquier especie, incluida la humana, que insista en infligir al medio cambios que perjudiquen las posibilidades de supervivencia de la vida, está condenada a la extinción. Al

apropiarnos de enormes zonas de tierra para alimentar a la gente y al contaminar el aire y el agua estamos entorpeciendo la capacidad de Gaia para regular el clima y la química de la Tierra. Si no desistimos, estamos en peligro de extinción. En cierto modo, nos hemos metido en una guerra con Gaia, una que no podemos ganar. Lo único que podemos hacer es firmar un armisticio mientras todavía somos fuertes y no una chusma desesperada.

Como ecologista, me alarmaron las nuevas pruebas del daño producido por los pesticidas agrarios. Yo vivía entonces en Wiltshire, donde jóvenes granjeros entusiastas estaban esterilizando la campiña. El paisaje rico y biodiverso de pequeños prados y setos desaparecía para dar paso a grandes campos de monocultivo vallados con alambre de espino en los que crecía cebada y colza. Bowerchalke, mi pueblo, casi no había cambiado desde la Edad Media, con sus cinco granjas y la gente que trabajaba en ellas. Las parejas jóvenes de las familias del pueblo creían que podrían alquilar o comprar una casita y continuar su vida allí como sus antepasados habían hecho durante siglos. En apenas diez años, todo cambió. En las granjas trabajaban asalariados traídos de fuera, el precio de las casas subió hasta quedar fuera del alcance de los lugareños y el pueblo mismo se convirtió en una colonia suburbana habitada por una rica clase media. Esta profanación del entorno rural que se ha dado a lo largo del sur y el este de Inglaterra, ha pasado casi desapercibida, y pocos han llorado la pérdida de biodiversidad y de las comunidades rurales. Esa devastación no ha cesado, pero no atrae la atención de los medios de comunicación. En comparación, el sufrimiento y desaparición de las comunidades de mineros en la década de 1980 fue mucho menor y, sin embargo, recibió una extensa cobertura mediática. Ambos acontecimientos fueron vergonzosos, pero la falta de apoyo y empatía con los habitantes pobres del campo los convierte en ciudadanos de segunda de nuestra sociedad multicultu-

ral. Bowerchalke tenía un equipo de críquet lo bastante bueno como para ganar al equipo del condado de Somerset, una pujante escuela rural en la que mis hijos aprendieron a leer, escribir y a hacer cálculos aritméticos de forma tradicional y, por supuesto, el *pub* del pueblo, The Bell, con su severa propietaria, Chris Gulliver, que no toleraba la embriaguez ni la mala conducta. Es verdad que nadie padeció privaciones en el proceso de destrucción de la vida rural. Los vecinos del pueblo recibieron lo que entonces les pareció una fortuna por sus casas. Los jóvenes que no tenían propiedades se alojaron en casas de protección oficial y consiguieron trabajo en las ciudades vecinas. Quienes sí sufrieron fueron los pájaros, los animales y las plantas silvestres del campo. Prados con antiguos setos que se poblaban de colores en primavera y que resonaban con los ecos de los trinos de los pájaros, se convirtieron en extensiones vacías de monocultivos de grano. Los habitantes de las ciudades padecieron también la pérdida de un lugar en el que, como se había hecho en épocas pasadas, podrían haber disfrutado paseando.

Yo sabía mucho de cultivos industriales y de los motivos por los que se había desatado aquella maldición sobre el campo inglés. Todo era para cultivar más comida. Durante la segunda guerra mundial casi nos habíamos muerto de hambre y ahora queríamos, a toda costa, hacer más eficiente el atrasado e improductivo campo inglés. Para tener una imagen de lo que ha sucedido, imagine un enorme jardín con árboles, matorrales y parteres de flores y, separado de algún modo, un campo vallado lleno de verduras y hortalizas y quizá también unas pocas ovejas para que mantuvieran el césped corto. Así era el campo hasta que los científicos descubrieron que un uso tan ineficiente de la tierra era un error. Los árboles y los matorrales tenían que eliminarse, el césped tenía que ararse y debía plantarse en él un solo cultivo que fuera adecuado al clima y el suelo locales. Eso fue lo que pasó en Inglaterra y en buena parte de Europa entre 1960 y 1980 y por eso ahora nos sentimos desposeídos. El campo que

yo amaba me fue arrebatado y no hubo nada que yo pudiera hacer para evitarlo. Todo, igual que en la guerra, en nombre de una ideología. Unos pocos ecologistas parecían compartir mi odio hacia ese nuevo modo de barbarie y autores como Miriam Shoard y Richard Mabey, especialmente en su reciente libro *Nature Cure*, han expresado su preocupación por este problema. Por desgracia, muchos ecologistas apoyan hoy una solución final para las regiones rurales: convertirlas en el lugar en que se instalen a escala industrial las energías renovables. Quieren usarlas para poner plantas eólicas y para cultivar biocombustibles que mantengan las luces de las ciudades encendidas y el transporte urbano en marcha. ¿Cómo pueden llamarse verdes con políticas tan negras como ésta?

Es humano preocuparse por el destino de extraños pájaros y adorables animales que viven en lejanos y *roussonianos* bosques, pero esos pájaros y animales son el equivalente a los dandis de nuestra sociedad, y contribuyen poco al duro trabajo que es mantener a Gaia en funcionamiento. Esto último es lo que hacen en su mayor parte los moradores del suelo, los microorganismos, los hongos, los gusanos, los mohos y los árboles. El ecologismo rara vez se preocupa de este proletariado, los bajos fondos de la naturaleza. Esa corriente de pensamiento ha sido hasta ahora básicamente una ideología política radical y por eso no es sorprendente que el mensaje de Rachel Carson pasara, en las conversaciones a la hora de comer de las universidades y de los barrios ricos, de una amenaza para los pájaros a una amenaza para las personas. En ese clima de opinión, no pasó mucho hasta que científicos en busca de financiación descubrieran que investigaciones que parecían indicar que el compuesto X o el pesticida Y era cancerígeno resultaban extraordinariamente gratificantes y les comportaban fama y fondos más allá de lo que hubieran podido imaginar. Los medios descubrieron en estos es-

tudios una fuente prácticamente inagotable de noticias y, más adelante, de reportajes sobre pleitos y demandas, conforme los abogados se metieron en el asunto y consiguieron las primeras condenas e indemnizaciones. Las conversaciones de sobremesa subieron de tono a causa del miedo, pues nada asusta tanto en tiempos de paz como la perspectiva del cáncer. Pronto, todos los productos químicos se consideraron peligrosos y eso hizo que las inofensivas y en su mayor parte inútiles técnicas de la medicina alternativa cobraran relevancia. El deseo de conseguir alimentos orgánicos, cultivados sin productos químicos hechos por el hombre, se convirtió en una de las fuentes de inspiración de los verdes. En otras palabras, los verdes se obsesionaron con problemas que afectaban sólo a los humanos. Si nos preocupa de verdad el bienestar de la humanidad, es nuestro deber anteponer Gaia a cualquier otra consideración y nuestra obligación asegurarnos de que no tomamos de ella más que nuestra justa porción. Invocar a Gaia sin tener esto en mente, no es más que perseguir una quimera.

En el primer mundo, el miedo al cáncer condujo a tomar medidas burdas y poco estudiadas contra el DDT y otros productos químicos similares, sin tener en cuenta el daño que se causaba a los países en vías de desarrollo al negarles los beneficios de un uso razonable y proporcionado del DDT. La reacción exagerada contra los nitratos es otro ejemplo de legislación inapropiada.

Nitratos

Cuando nos mudamos a la localidad donde residimos actualmente, Coombe Mill, en Devon, hace casi treinta años, el campo del oeste de Devon era todavía idílico, totalmente distinto del desierto que los cultivos industriales habían creado en nuestro anterior hogar en Wiltshire. Un pequeño río, el Carey, cruza

Coombe Mill, es un afluente del Tamar, cuyo curso define la frontera entre Devon y Cornualles. En 1977, el Carey tenía aguas claras y cristalinas y había en él tantos salmones y truchas que los alguaciles tenían que patrullarlo para impedir la pesca ilegal. Los pescadores, enfundados en sus botas altas, a menudo se alejaban de los cotos de pesca legales en la parte baja del río, entraban en nuestras tierras y nos contaban sus acostumbradas historias.

Nuestra región es una de las regiones más húmedas del sur de Inglaterra y las lluvias fuertes, especialmente en verano, hacen que la tierra sea difícil de arar. La mayoría de los granjeros de por aquí, ahora lo mismo que en el pasado, son pastores de ovejas, que se alimentan de la abundante hierba. En 1977 trabajaban como siempre lo habían hecho, segando el heno y los pastos a finales de la primavera o principios del verano y almacenándolo en montones para alimentar al ganado en invierno. Esta agricultura de baja intensidad es lo que hizo de Inglaterra un lugar tan bello y agradable en el que vivir. Ese sistema, además, garantizaba un suministro abundante de comida para la vida salvaje autóctona. La presión para cultivar más comida que se inició durante la segunda guerra mundial, cuando hubo escasez de alimentos, condujo a la generalización de uso de abono químico; con más animales en los campos, el estiércol que producían no bastaba para completar el ciclo de nutrientes esenciales, particularmente del nitrógeno, básico para la vida. Para compensar el déficit, los granjeros empezaron a usar nitrógeno en forma de nitrato de amonio y potasio y fósforo como fosfato de potasio. Un nitrato es una sal que procede de la combinación del ácido nítrico con álcalis como el potasio, el sodio o hidróxidos de amonio; es un polvo blanco y, como sal que es, soluble en agua. El nitrato de amonio, el fertilizante agrícola habitual, se comercializa en grandes sacos de plástico que contienen cientos de kilos de gránulos blancos. Es bastante seguro cuando se utiliza en la agricultura, pero hay terroristas que han fabricado bombas con él.

Cuando el nitrato pierde uno de sus átomos de oxígeno se convierte en un nuevo ión llamado nitrito. Los nitritos son especialmente peligrosos, porque en condiciones de acidez reaccionan fácilmente con los aminos —que son moléculas con un átomo de nitrógeno unido a dos átomos de hidrógeno—, y con un vasto número de hidrocarburos. Los productos de la reacción se llaman nitrosaminas. En 1963 conocí a un científico médico en una conferencia sobre biología de la radiación. Se llamaba W. Lijinsky. Se había hecho famoso investigando las propiedades cancerígenas de esas nitrosaminas. Representó una conmoción para muchos químicos de la generación anterior, pues en sus días de estudiantes muchos de ellos habían preparado decenas o centenares de gramos de dietilnitrosamina como ejercicio de curso. Nos preguntamos si respirar los vapores de esos insospechadamente venenosos compuestos habría puesto en marcha bombas de relojería dentro de nuestros cuerpos.

No pasó mucho tiempo antes de que concienzudos ecologistas descubrieran que los nitratos presentes de forma natural en los alimentos y el agua son transformados en nitritos por nuestra saliva y que diariamente los tragamos con la comida, con lo que se mezclan con los ácidos de nuestros estómagos. Los aminos también están presentes de forma natural en nuestros alimentos (son los que hacen que el pescado huela a pescado) y pueden reaccionar con el ácido nitroso de los nitritos y formar las potencialmente letales nitrosaminas. Esta información fue utilizada por activistas que constantemente aumentaban nuestra preocupación sobre los nitratos en los alimentos o el agua potable hasta que, en la década de 1970, las autoridades sanitarias de Europa y Estados Unidos empezaron a considerar que la presencia de nitratos en los alimentos y el agua suponía una grave amenaza para la salud. Se aprobaron nuevos reglamentos mucho más estrictos para limitar el uso del nitrato como fertilizante y para reducir su presencia en los productos alimenticios y el agua.

Esta nueva percepción del peligro y la nueva legislación limi-

tando el uso de los nitratos como fertilizantes pueden haber acelerado los cambios malignos que ya estaban en marcha en el campo. Los granjeros de Devon y de muchos otros lugares empezaron a cambiar la forma en que usaban la hierba, sustituyendo los almiarres por silos o bolsas de plástico llenas de ensilaje. En pocos años, dejaron de esparcir nitrato de amonio en los campos y de recoger pasto, y adoptaron el procedimiento moderno del estiércol líquido, según el cual la hierba se recoge en primavera y se convierte en ensilaje, un plato apetitoso —para el ganado— similar a las coles en vinagre o el *sauerkraut*. Se trata de un proceso que permitió a los granjeros tener más reses en sus tierras gracias al almacenamiento de ensilaje. En lugar de usar fertilizantes de nitrato ahora esparcen el estiércol recogido en invierno en sus tierras, sea directamente o disuelto en agua. Para un ecologista de ciudad, ese sistema tenía todos los visos de ser una agricultura auténticamente orgánica, pero a principios de la década de 1980, las claras y cristalinas aguas del Carey se habían vuelto marrones y espumosas y hedían como una cloaca. En verano, los tramos tranquilos donde los peces emergían para cazar moscas, se cubrieron de algas verdes y hierbajos y el río murió lentamente. La nueva agricultura orgánica basada en el estiércol estaba cargando al río con una cantidad de excrementos mucho mayor de la que podía tolerar. Las tormentas llevaban el estiércol de los campos al río y pronto el nivel de oxígeno del agua descendió a cero. Muchas de las especies asociadas que constituyen el ecosistema de un río —las plantas verdes que proporcionan oxígeno al agua, las numerosas especies de insectos que viven en el río y bajo las piedras de su lecho—, murieron, principalmente por falta de luz para realizar su fotosíntesis, y de anoxia. Desaparecieron los insectos de los que se alimentaban los peces, así que éstos no regresaron ni en los momentos en que la polución causada por el estiércol fue menor. El problema se agravó cuando los granjeros empezaron a alimentar a su ganado con grano importado además de con ensilaje. Eso les permitió aumentar sus re-

baños a un número de cabezas mayor del que la tierra podía mantener por sí misma. Como consecuencia, esos campos que una vez fueron prados cuya hierba alimentaba al ganado, ahora se convirtieron, además, en vertederos del exceso de estiércol, que se acumulaba en tanques y pozos durante el invierno.

Durante los años que pasaron desde 1977 hasta mediados de la década de 1980, tuve que ver cómo el río y el campo que lo rodeaba morían. Para mí fue una experiencia tan conmovedora como cualquiera de las que Rachel Carson relata en su *Primavera silenciosa* sobre la muerte de los pájaros. Y en esta ocasión la responsabilidad no recaía en la sospechosa habitual, la industria química, sino que era culpa de todos nosotros y de nuestra equivocada tendencia a creer cualquier acusación contra las grandes empresas. Todos votamos a los gobiernos que aprobaron la legislación que disponía el control de los nitratos, e hicimos la vista gorda ante los excesos de la Política Agrícola Comunitaria (PAC).

Como siempre, el mundo real es mucho más sutil e impredecible de lo que cualquiera de nosotros pueda pensar. Hoy, en el Carey, se encuentran algunos peces, pequeñas truchas y espinosos, pero la carga de estiércol que todavía permanece bajo las piedras en el lecho del río tardará décadas en desaparecer y permitir que el río vuelva a ser habitable. La mejora que permitió la presencia de esos pocos peces no se produjo porque los agricultores comprendieran de repente que lo que estaban haciendo estaba mal, sino porque mi región se vio severamente afectada por dos epidemias: la fiebre aftosa y la encefalopatía espongiiforme bovina. El número de cabezas de ganado cayó en picado.

Gaia es un sistema intrincado y complejo y, en muchos sentidos, se parece al cuerpo humano. No puede ser manipulado burdamente para alimentar a un número de personas cada vez mayor sin consecuencias. Muchas veces, el pánico que desata el

miedo al cáncer nos lleva a hacer cosas poco razonables y desaforadas.

Un perturbador epílogo a este relato sobre los nitratos apareció publicado en *Scientific American* en septiembre de 2004. La revista informaba de una investigación que había descubierto que los nitratos presentes en la comida y el agua no eran perjudiciales para nuestros cuerpos, sino beneficiosos. Los usamos en el proceso digestivo para que los ácidos estomacales acaben con más facilidad con las bacterias patógenas que a menudo infectan nuestra comida.

Lluvia ácida

A estas alturas, ya habrá deducido que la mayor parte de los peores aspectos de la contaminación son iatrogénicos, es decir, consecuencia de un tratamiento que empeora la enfermedad en lugar de curarla. La contaminación por lluvia ácida nos ofrece un interesante ejemplo de nuestra desafortunada tendencia a empeorar las cosas cuando intentamos arreglarlas.

Fred Pearce, en su libro *Acid Rain*, de 1987, nos ofrece una cronología clara y fiable de la historia de la lluvia ácida. Hasta que lo leí no supe que el dramaturgo noruego Ibsen ya había escrito sobre los primeros síntomas de esta enfermedad de la era industrial. En una de sus primeras obras, *Brand*, decía:

*Visiones oscuras y peores premoniciones
me miran desde la penumbra,
la nube de humo inglesa se hunde corrompiendo
la tierra con humaredas nauseabundas,
acaba con sus tiernas flores
destroza todo su verdor
barre todo con su aliento de pesadilla
roba el sol a la llanura
y cae como una lluvia de ceniza.*

Cien años después, en la década de 1970, los habitantes de Noruega y Suecia descubrieron conmocionados que sus lagos y ríos, antes llenos de vida, estaban desertizándose. Las mediciones químicas indicaban que se había producido algún cambio o se había contaminado el agua convirtiéndola en demasiado ácida para la vida. Noruega y Suecia no están densamente pobladas ni había en ellas tanta industria pesada como en Estados Unidos o Alemania. Así pues, ¿de dónde venía el ácido? No se tardó mucho en hallar la fuente. En las estaciones meteorológicas escandinavas se vio que la lluvia recogida era todavía más ácida que la de lagos y ríos. El ácido destructivo llegaba con la lluvia, pero ¿de dónde procedía esa lluvia?

Cualquiera que viva en Europa occidental sabe que los vientos predominantes soplan del oeste y vienen del océano Atlántico. La única masa de tierra de tamaño considerable al oeste, o más bien al sudoeste, de los países escandinavos es el Reino Unido. Era bien sabido que el Reino Unido producía la mayor parte de su electricidad quemando carbón en enormes centrales térmicas (la de Drax, en Yorkshire, por ejemplo, era la mayor del mundo). Las investigaciones sobre la lluvia ácida pronto se hicieron públicas y el tema se convirtió en uno de los favoritos de los medios en el norte de Europa. Se acusó a Inglaterra de ser la principal exportadora de ácido. El delito de exportar ácido encajaba perfectamente con los prejuicios existentes. Hasta los propios ingleses estuvimos de acuerdo, pues todos nosotros estábamos convencidos de que la industria era algo malvado y contaminante y que se guiaba sólo por los beneficios (olvidábamos convenientemente que las industrias del carbón y la electricidad se habían nacionalizado hacía más de veinte años). Todo el mundo estaba seguro de que las centrales térmicas de carbón inglesas eran las culpables de la lluvia ácida. El hecho de que entonces hubieran pasado a ser patrimonio público no ayudó en nada.

En la década de 1980 los representantes de las academias

científicas de las naciones nórdicas y de Inglaterra se reunieron para debatir la naturaleza del problema y hallar soluciones. No iba a ser un juicio en que el acusado fuera considerado inocente hasta que se demostrara lo contrario. Mis amigos sir John Mason y sir Eric Denton, ambos representantes de la Royal Society en esta reunión, me explicaron que el presidente nórdico dijo en su discurso inaugural lo siguiente: «Señores, estamos aquí para demostrar que las emisiones británicas de gases sulfurosos son la causa de la lluvia ácida en Escandinavia.» No quedaba ninguna duda sobre el veredicto, y el Reino Unido aceptó su culpabilidad sin rechistar y procedió a colocar filtros que capturaran el azufre en las chimeneas de sus principales centrales térmicas de carbón. La mayor parte de la gente en el norte de Europa cree que se hizo justicia y que los culpables pagaron por haber contaminado.

Pero la lluvia ácida es mucho más compleja de lo que creyeron los escandinavos. Igual como con la historia de Rachel Carson sobre que los pesticidas de las industrias químicas eran los agentes que estaban matando a los pájaros y que al final acabarían provocando una primavera silenciosa, la culpa no era sólo de los británicos. Es decir, no cabe duda de que las centrales térmicas de carbón británicas eran responsables de parte de la lluvia ácida —alrededor de un 17 por ciento— que caía sobre los países escandinavos. Pero por sí solo, eso no hubiera bastado para provocar la grave acidificación que se observó en los ríos y lagos escandinavos. Así pues ¿de que otro punto de la Tierra procedía la mayor parte del ácido?

La tabla 2 ilustra las principales fuentes de la lluvia ácida (los datos están tomados del libro de Bridgman de 1990). Recibían tanta de Alemania como del Reino Unido, a pesar de que entonces Alemania Oriental todavía formaba parte del imperio comunista soviético, un lugar donde el bien del Estado pasaba delante de cualquier preocupación por la polución. Y no sólo eso, sino que Alemania Oriental además quemaba lignito en sus

TABLA 2

Proporción de azufre (%) depositado en Suecia y Noruega procedente de otras naciones

	Reino Unido	URSS	Alemania	Checoslovaquia	Suecia	Noruega
Suecia	6,8	12	14	4	18,5	2,4
Noruega	15	8,3	15	3,5	4	10

centrales térmicas, un carbón rico en azufre abundante en esa parte de Europa. Parte del ácido procedía incluso de las propias naciones nórdicas.

Otra fuente de ácido, por sorprendente que resulte, es el mar del Norte, aunque no hasta el punto que yo creí en el pasado. Las algas microscópicas que viven en el océano crean el gas DMS, que escapa al aire, donde se oxida y forma ácidos sulfúricos y de metano. En los últimos años, las algas han vivido a cuerpo de rey gracias a los nutrientes que obtienen del flujo de aguas residuales de la agricultura que contamina los ríos europeos. Tanto el Báltico como el mar del Norte tienen un nivel de nutrientes muy superior al del océano Atlántico.

Me costará olvidar una visita a Schweningen, un centro turístico de la costa holandesa en 1990. Allí, paseando por la playa, fuimos ahuyentados por los montones, de más de treinta centímetros de altura, de perniciosos detritos con olor a azufre que habían sobre la arena en la orilla del mar. Se trataba de una floración de algas, probablemente fitoplancton, que el viento había arrastrado hasta la costa desde el sobrealimentado mar del Norte. Pero en 1996, Sue Turner y sus colegas de la Universidad de East Anglia publicaron un artículo que ofrecía un registro completo de las emisiones naturales de DMS del mar del Norte y evaluaba su potencial impacto sobre el total de emisiones europeas de azufre. Descubrieron que la emisión anual de azufre

en forma de DMS procedente del mar del Norte era sólo el 0,4 por ciento del total de emisiones industriales de las naciones que rodeaban el mar del Norte. Por otra parte, la emisión de las algas es estacional, y puede ser local: Leck y Rodhe, en 1991, estimaron que en julio, los mares adyacentes a Escandinavia emiten entre 0,8 y 3 veces la cantidad de sulfuro que emiten las fuentes industriales noruegas. Sin embargo, me agrada disponer de esta oportunidad para corregir la impresión incorrecta que se daba en mi anterior libro *Gaia, The Practical Science of Planetary Medicine* de que las emisiones naturales constituían una parte importante de la lluvia ácida que llegaba a Escandinavia.

En 1988 tuve la oportunidad de preguntarle al entonces director de la industria energética británica, lord Marshall, por qué habíamos aceptado tan dócilmente que toda la culpa de la lluvia ácida recayera en nuestras emisiones de azufre. Su respuesta fue lacónica: «El coste de instalar filtros de azufre era mínimo comparado con el de la privatización de la industria eléctrica». Al parecer es muy fácil perder el sentido de la proporción.

Éste no es el fin de la historia de la lluvia ácida. En respuesta a ese problema, la Unión Europea aprobó una serie de leyes para reducir el sulfuro de los combustibles y para asegurarse de que se filtrasen todas las emisiones de azufre de las centrales térmicas. Los buenos médicos de Bruselas aplicaban el tratamiento que todos creíamos necesario para curar la enfermedad. Por desgracia, después hemos descubierto que esas medidas pueden generar una dolencia iatrogénica. Investigaciones recientes confirman lo que algunos de nosotros sospechábamos desde hacía tiempo: que la generalizada niebla atmosférica que arruina los cielos de verano y reduce la visibilidad a veces a menos de cien metros, es un aerosol y la causa de lo que se ha dado en llamar «oscurecimiento global». Lo que vemos es el ácido de la lluvia ácida extendiéndose por toda Europa, llegando incluso a Asia. Antes de pensar

que debemos detenerlo, consideremos lo que dicen los científicos. Afirman que esta niebla refleja la luz del sol hacia el espacio y nos mantiene, a los que estamos bajo ella, varios grados más fríos de lo que estaríamos de otro modo. En cierto sentido, el aerosol de la lluvia ácida es una cura parcial para el calentamiento global. Imagine cuánto peor hubiera sido la ola de calor del verano de 2003 si no hubiéramos contado con él, y cuánto peor serán las futuras olas de calor cuando esa nueva legislación europea empiece a ponerse en marcha.

La comida como peligro

La vida urbana carece de contacto con la naturaleza y sospecho que muchos imaginan que la vida vegetal ha evolucionado de algún modo para convertirse un alimento perfecto. No hace tanto estábamos seguros de que había sido creada por un Dios bondadoso sólo para que nos la comiéramos. Es sorprendente qué pocos parecen darse cuenta de que a las plantas no les gusta que se las coman, y llegan a extremos insólitos para disuadir, incapacitar o incluso matar a cualquier animal o invertebrado que trate de hacerlo. Puede que a algunos nos parezca que el ajo tiene un aroma muy agradable, pero en el curso de su evolución descubrió que la síntesis de una serie de compuestos de azufre ahuyentaba eficazmente a la mayoría de insectos, animales y microorganismos de su entorno. Trate de masticar una alcaparra cruda, que es una cápsula que contiene las semillas de una planta del género *euphorbia*, y quedará incapacitado por el dolor y las llagas que le saldrán en la boca y labios. El tejo y el ricino van todavía más lejos y matarán a cualquiera que sea lo bastante insensato como para masticar sus semillas en lugar de tragárselas.

El distinguido médico norteamericano Bruce Ames es célebre por el test de Ames, que detecta la presencia de cualquier sus-

tancia o radiación que cambie el código genético de un organismo. Los cambios de código genético se denominan mutaciones y suelen ser fatales para la descendencia del organismo dañado o, como mínimo, llevan a peores condiciones de vida; sólo en muy raras ocasiones las mutaciones son beneficiosas. Pueden desembocar en cáncer, siendo en este caso agentes desencadenantes los llamados cancerígenos. Ciertas sustancias naturales no son cancerígenas en sí mismas pero pueden hacer que las células mutadas se conviertan en cáncer. A estas sustancias se las denomina co-cancerígenas. En un artículo fundamental publicado en *Science* en 1983, Ames describió que la comida que consumimos habitualmente está plagada de cancerígenos y co-cancerígenos. Más importante todavía es que descubrió que los cancerígenos naturales generados por la vida vegetal están presentes en concentraciones miles de veces superiores a las de los producidos por la industria química. Los que hemos convertido en costumbre comer sólo «saludables» productos naturales deberíamos tener en cuenta que, al hacerlo, estamos absorbiendo un increíble número de estas sustancias naturales que pueden tornar malignas a las células vivas. Si somos tan poco inteligentes, o desafortunados, como para comer nueces con moho, nos podríamos encontrar con uno de los cancerígenos más letales, la aflatoxina. A pesar de ello, lo que está extendido es el miedo supersticioso ante los «productos químicos» hechos por el hombre, mientras que las sustancias químicas naturales todavía se contemplan como beneficiosas. Si lleváramos esa perversa fantasía urbana a su conclusión lógica, acabaríamos creyendo que la estricnina y la toxina del botulismo son beneficiosas porque son naturales. Hemos olvidado lo que Paracelso trató de enseñarnos y ya no entendemos que hasta el agua es venenosa si la consumimos en exceso y el cianuro inofensivo en pequeñas dosis. Está bien ser prudente sobre las aplicaciones de la ciencia, como nos recuerdan a menudo los avances científicos en medicina que salen mal, pero aceptar acríticamente las falsedades de la medicina *New Age* es insen-

sato y peligroso, aunque el hecho de que jóvenes sanos sacien su hipochondria con las inofensivas y limitadas técnicas de la medicina alternativa sirva al menos para aliviar un poco la presión sobre los sobrecargados sistemas sanitarios. Menos inocuo es el deseo de consumir alimentos orgánicos que no contengan productos químicos creados por el hombre. Para mí, se trata de una gran ironía, pues mis primeros estudios fueron como químico «orgánico», precisamente el tipo de persona que crea los productos químicos a los que tanto se teme. El deseo de comida orgánica, producida sin la adición «artificial» de fertilizantes químicos o pesticidas es una respuesta lógica a los excesos de los cultivos industriales. Pero cuando en los supermercados veo estantes enteros llenos de alimentos orgánicos, muchos de ellos importados de tierras lejanas, me pregunto si en realidad no se tratará del mismo agronegocio bajo otro disfraz. Veo que algunos de los defensores de la comida orgánica enarbolan la bandera de la anticiencia y derivan peligrosamente hacia una obsesión y un miedo irracionales que ignoran los daños reales que le estamos causando a la Tierra. Como he dicho antes, no podemos cultivar más de la mitad de la superficie terrestre del globo sin desestabilizar la capacidad de Gaia para mantener el planeta en un estado adecuado para la vida. Por desgracia, con la población actual, la baja productividad de las granjas orgánicas comparadas con la agricultura intensiva siembra dudas sobre el futuro. No soy en sostener esta postura crítica. Patrick Moore, miembro fundador de Greenpeace, comparte mi opinión. Dado que, en última instancia, nuestro bienestar, incluso nuestra supervivencia, dependen por completo de la salud de Gaia, pedimos a los ecologistas de ciudad que recapaciten y comprendan que su principal obligación es hacia la Tierra viva. La humanidad va en segundo lugar.

Percepción del riesgo

A través de nuestra rutina diaria, casi todos estamos participando en la demolición de Gaia. Es una labor a la que dedicamos todas las horas del día, cuando vamos en coche al trabajo, a visitar a unos amigos o a comprar, o cuando volamos a algún destino lejano para pasar allí nuestras vacaciones. Contribuimos a esa demolición al mantener nuestros hogares y centros de trabajo fríos en verano y calientes en invierno. La suma total de toda la contaminación que hemos emitido ha añadido ya medio billón de toneladas de carbono a la atmósfera, lo bastante —si los registros geológicos del Eoceno, un período que tuvo lugar hace cincuenta y cinco millones de años, son correctos y seguimos contaminando al mismo ritmo— como para empezar a cambiar el mundo de forma tan completa que apenas un puñado de nuestros descendientes vivirá para verlo. Si seguimos así, pensando de forma egoísta sólo en el bienestar de los humanos e ignorando el de Gaia, habremos causado nuestra casi total extinción.

El científico E. O. Wilson nos ha advertido repetidamente, igual que distinguidos biólogos como Robert May y Norman Myers, de que al destruir hábitat naturales para ganar tierras de cultivo estamos causando una extinción comparable a la asociada a la desaparición de los dinosaurios hace sesenta y cinco millones de años. El Millennium Ecosystem Assessment de 2003 confirma sus ideas, al igual que el informe publicado en 2005 en *Science* por Jonathan Foley y sus colegas sobre las consecuencias globales del uso de la tierra. Es una buena señal que los científicos que se dedican a estudiar la vida y los del IPCC que se dedican a estudiar la Tierra compartan la misma sensación de que estamos en peligro, pero no nos ayuda en nada que traten el peligro como si fuera sólo biológico, pues la separación de ciencias es algo propio del siglo xx que deberíamos dejar atrás. Quizá es pedir de-

masiado que todos los científicos hablen con una sola voz y en un lenguaje comprensible, pero afortunadamente eso es exactamente lo que están empezando a hacer muchos miembros de la comunidad que estudia el clima. Los científicos miembros del IPCC y los climatólogos particulares son conscientes de que en el sistema Tierra todo está interconectado, incluidas sus formas de vida, y por qué esta entidad mayor, y no solamente la biosfera o un ecosistema individual, es importante en el inminente cambio climático que intensificará la extinción.

A pesar de todas estas amenazas, seguimos destruyendo y parece que sólo nos preocupe el ínfimo, casi imaginario, riesgo de cáncer que generan los teléfonos móviles, las líneas de alta tensión, los residuos de pesticidas en la comida o la propia luz solar. Y más miedo todavía nos da cualquier cosa que tenga que ver con la energía nuclear. En realidad, nos preocupamos por el mosquito y nos tragamos el camello.

Quizá en lo más profundo de nuestro corazón conocemos la magnitud del peligro y por ello preferimos enfrentarnos a estos riesgos menores imaginarios antes que encarar las inevitables consecuencias de la destrucción. Durante muchos años, hombres y mujeres sensatos con toda la vida por delante me han venido a preguntar si hay para ellos esperanza de futuro. Ésa es una pregunta que no se nos habría ocurrido a mí o a mis amigos cuando éramos jóvenes. A pesar de la sombra de la segunda guerra mundial, estábamos seguros de que podíamos llevar una vida plena y satisfactoria. Hoy parece que sus intuiciones, la suma inconsciente de los datos que sus sentidos captan sobre el mundo, les transmiten un mensaje pesimista. De forma similar, quizá la estridencia de los escépticos sobre el calentamiento global oculta su miedo a estar equivocados.

El miedo al demonio y a los fuegos de infierno, tan común en siglos pasados, parece haber sido reemplazado hoy por el miedo al cáncer. Igual que en el pasado ese temor fue manipulado por personas poco escrupulosas en beneficio propio, también

hoy hay reencarnaciones de Yago que manipulan nuestro miedo y aversión naturales al cáncer para sus propios fines. Antes de desmentir sus falsedades, debemos hablar un poco más del cáncer y sus causas.

Si sobrevivimos a la tragedia del calentamiento global, los historiadores dirán que uno de nuestros mayores errores fue tener tanto miedo del cáncer. La gente del primer mundo está convencida de que no alcanzan la inmortalidad por culpa de los productos químicos y la radiación. Me sorprendió escuchar de boca de una estadounidense inteligente de mediana edad que la esperanza de vida humana estaba muy por encima de los cien años. Tenía una fe completa en el Antiguo Testamento y, en consecuencia, creía que los contaminantes medioambientales estaban privándola de alcanzar esa edad. Sospecho que ese extraordinario autoengaño es bastante común y explica por qué muchos no se dan cuenta de que el cambio global es una amenaza mucho mayor para sus vidas.

¿Cuál es la verdad? El 30 por ciento de nosotros morirá de cáncer. Pocos parecen saber que la principal causa de cáncer es respirar oxígeno. Una de las grandes ironías de la evolución de Gaia es que los animales obtienen su capacidad de movimiento del oxígeno, que les ofrece el valiosísimo don de una energía fácilmente disponible —sin la cual seríamos tan sésiles como los árboles—, pero el precio de ese regalo para los humanos es que morimos antes, y el precio para Gaia es que el oxígeno nos permite quemar cosas.

Dentro de cada una de los miles de millones de células que forman nuestros cuerpos hay pequeñas cápsulas llamadas mitocondrias. Son las centrales energéticas de nuestras células. En esas pequeñas partículas, el combustible de la comida que consumimos reacciona con el oxígeno que respiramos. La producción de energía de las mitocondrias constituye la corriente de unas pilas recargables de tamaño molecular, las moléculas de adenosinatrifosfato (ATP), cada una de ellas capaz de impulsar

durante unos instantes nuestros músculos y nuestro cerebro para que podamos andar, correr y pensar. Cuando estas pilas moleculares se descargan, se recargan de nuevo en las centrales energéticas que son las mitocondrias. Para nuestros cuerpos, con sus miles de millones de minúsculas mitocondrias, el peligro procede de la fuga accidental de productos de la combustión. Cuando el oxígeno reacciona con el producto de los alimentos, aparecen contaminantes no deseados. Éstos incluyen la molécula de oxígeno con carga negativa conocida como ión de superóxido, el radical hidroxilo y otras moléculas altamente reactivas. Estas destructivas moléculas escapan de las mitocondrias convirtiéndose en contaminantes tóxicos y pueden aparecer en cualquier lugar del cuerpo en el que el oxígeno pueda reaccionar sin control. La omnipresencia de oxígeno en nuestros cuerpos aumenta en gran medida el daño causado por la radiación y los venenos químicos. Los radicales producto de la oxidación son agresivamente reactivos, y atacarán a casi cualquier molécula con la que se encuentren, dañando de este modo el intrincado y ordenado ensamblaje interno de nuestras células. Casi todos los daños que causan son reparados por un evolucionado conjunto de enzimas y sistemas que podríamos considerar como los servicios de seguridad de las formas de vida que respiran oxígeno. Pero es inevitable que se causen algunos daños a los elementos químicos genéticos de nuestras células, como el ADN, que son los programas y procedimientos para construir nuevas células. Afortunadamente, ese daño al ADN también es reparado y existe un constante control de su integridad.

Es inevitable que, en transcurso de toda una vida, unos pocos de los miles de millones de controles de este tipo que realiza el cuerpo no funcionen. De esos errores en la reparación de los daños causados por el oxígeno nacen nuevas células con desórdenes fatales o casi fatales. La mayoría de estas células se suicidan mediante una especie de píldora venenosa mortal que toda célula posee y que se llama caspasa. Cuando se la activa, desencade-

na un proceso de disolución progresivo de la célula. Este milagroso proceso se denomina apoptosis. Para comprender en qué consiste, imagine que uno de nosotros, tras decidir que es más perjudicial que útil, pudiera quitarse de en medio de un modo tan perfecto, que pudiera dejar tras de sí un montón ordenado de piezas de recambio para uso de otros seres humanos.

A veces, el daño producido en el ADN por los productos de la oxidación inhabilita uno de los genes que ordena el suicidio celular, y cuando esto sucede nace una célula disidente que crece sin restricciones. Luego, tras varios cambios potencialmente más perjudiciales, nace una célula cancerosa totalmente incontrolada. Crece e invade el cuerpo del animal en el que ha surgido y en última instancia puede llegar a matarlo.

No hemos hecho más que un esbozo impreciso de la carcinogénesis. Todavía no conocemos los detalles, pero basta para mostrar cómo el poder vivificador del oxígeno tiene un lado oscuro. Para cuando alcancemos la esperanza de vida bíblica de setenta años, un tercio de nosotros habremos muerto de cáncer y en casi todas esas muertes la principal causa habrá sido respirar oxígeno.

La radiación nuclear natural que procede de los rayos cósmicos y de los elementos radioactivos del suelo, del aire y de nuestros hogares, puede causar y causa cáncer, porque tiene la suficiente energía como para partir las abundantes moléculas de agua que hay en una célula viva y liberar los mismos radicales libres que los generados por los procesos metabólicos oxidativos. Otras fuentes de cáncer, tanto naturales como fruto de la acción humana, actúan de igual modo que la radiación, pero ninguna de ellas, aparte de fumar cigarrillos y tomar el sol en exceso, contribuye significativamente a ese 30 por ciento que morirá por haber respirado oxígeno. La inflamación, como su nombre indica, es una sensación de quemazón que siempre viene acompañada por la oxidación del tejido inflamado y un incremento de la reproducción celular. No es sorprendente pues que esté relacio-

nada con el cáncer. Ése es probablemente el motivo de que algunas enfermedades virales, como la hepatitis B y C, provoquen cáncer al producir una inflamación crónica del hígado.⁵

Pocos somos conscientes de que el oxígeno del aire es el principal elemento cancerígeno de nuestro entorno, pero muchos están convencidos, equivocadamente, de que la mayoría de los cánceres son evitables y consecuencia de la polución ambiental, y existe una incesante serie de artículos que sostienen y alimentan esa patraña.

¿Cómo puede ser, se preguntará usted, que algo tan bueno, tan inofensivo como la energía nuclear haya sido demonizado hasta el punto de que la gente y los gobiernos prudentes temen utilizarlo? Creo que es consecuencia de la vulnerabilidad de la gente ante el asombroso poder de una mentira repetida incesantemente. La publicidad, la propaganda y la ficción bien escrita son muy eficaces y hacen que la mayoría siga creyendo que «nuclear» es sinónimo de «letal». Pero usted debería preguntarse cómo es posible que, a pesar de que estamos absorbiendo toda esa radioactividad y productos químicos, la incidencia del cáncer no haya aumentado perceptiblemente. ¿Cómo es que los que trabajan toda su vida en una central nuclear viven más que la población en general, y mucho más que, por ejemplo, los mineros? Al tener tanto miedo del cáncer perdemos la perspectiva. Pero por mucho que ese temor parezca justificado, no hay motivo para seguirlo teniendo. A pesar del miedo a la radiación, a los productos químicos en los alimentos o incluso a los teléfonos móviles y a las líneas eléctricas, vivimos más que nunca.

Hace algún tiempo, viví en Houston, Texas, una ciudad norteamericana rica que, en consecuencia, cuenta con abogados

5. Los que deseen saber más encontrarán una exposición sensata y completa en el libro *One Renegade Cell*, de Robert Weinberg.

competentes y caros. Uno de ellos, un famoso abogado especialista en pleitos, puso un anuncio en la televisión local en el que hacía una oferta extraordinaria. Invitó a cualquiera que lo estuviera viendo y que pensara cometer un asesinato a que lo hiciera, incluso ante testigos tan irreprochables como el papa o un comisario de policía. Luego aseguró que les proporcionaría una defensa que conseguiría un veredicto de no culpable, pero eso sí, añadió, les costaría todo lo que tuvieran. Su historial demostraba que no fanfarroneaba. No trato de decir que los abogados contratados por el movimiento antinuclear o el CND sean tan poderosos como ese abogado de Houston, pero han conseguido convencer a la mayoría de que todo lo nuclear es malo. En mi opinión, se trata de algo tan falso como hubiera sido la defensa de ese abogado de Houston en un juicio. Hemos evolucionado para escoger positivamente, incluso cuando la elección puede ser errónea o irracional. Cuando escogemos una pareja o compramos una casa, una vez hemos tomado la decisión nuestra elección se inviste de virtud y las que hemos descartado nos parecen llenas de defectos. Esta «disonancia cognitiva», que se ha convertido más en una maldición que en una ventaja, se puede resumir en la frase «no me lées con datos: ya he tomado una decisión».

CAPÍTULO 7

Tecnología para una retirada sostenible

Mejora

Parece probable que Estados Unidos se tome pronto en serio el calentamiento global y deje atrás su reciente escepticismo. Cuando lo hagan, creo que su primera reacción será intentar atajarlo usando un «parche tecnológico», aplicando los conocimientos que han obtenido gracias a su programa espacial y a la alta tecnología de que disponen.

En enero de 2004 se pronunció una interesante conferencia en la Universidad de Cambridge, bajo el título un tanto amenazador de «Opciones de macroingeniería para el cambio climático», lo que conjuró en mi mente imágenes de gigantescas barreras más grandes que el estrecho de Dover. En el instituto Isaac Newton de Cambridge se reunió un inusual grupo de científicos e ingenieros, casi todos preocupados por el calentamiento global y con ideas a escala planetaria para atenuarlo.

La conferencia la organizaban el profesor Harry Elderfield, un científico de Cambridge especializado en la Tierra, y el profesor John Shepherd, un oceanógrafo de la Universidad de Southampton, y reunió a los inventores o principales defensores de una serie de ideas particularmente interesantes para detener el cambio climático con intervención directa a nivel planetario. Fue

una conferencia seria y personas críticas, bien informadas y sensatas del público impidieron que divagáramos hacia la ciencia ficción. Pronto se perfilaron dos planteamientos básicos: el primero consistía en reducir la cantidad de calor que la Tierra recibía del sol, el segundo en eliminar el dióxido de carbono u otros gases invernadero del aire o de las fuentes de combustión.

Lowell Wood y Ken Caldiera, del laboratorio Lawrence Livermore, cerca de San Francisco, plantearon respuestas directas y valientes al calentamiento global. Su propuesta era construir en el espacio una pantalla solar que se colocaría entre la Tierra y el sol. Wood describió un disco reflectante de unos once kilómetros de diámetro, colocado en el punto Lagrange entre la Tierra y el sol (es decir, el punto en que la atracción gravitacional del sol y de la Tierra son iguales y opuestas y en el que haría falta muy poca energía para mantener el parasol en su sitio). Afirmó que el disco podría reflejar o dispersar una parte de la luz solar que recibiera y con ello enfriar nuestro planeta. Razonó de forma convincente que esta original solución para el calentamiento global no sería ni astronómicamente cara ni impracticable. Pesaría unas cien toneladas y podría ensamblarse y desplegarse en el espacio. Tanto él como Caldiera hablaron también de la posibilidad de usar pequeños globos estratosféricos para la misma finalidad y conseguir así una reducción del calor que nos llega del sol.

Otra forma igualmente plausible de disminuir la cantidad de radiación solar que recibimos sería crear artificialmente nubes bajas marinas sobre una gran área de océano. Se trataría de nubes o niebla situadas justo sobre la superficie del mar. John Latham, del Centro Nacional de Investigación Atmosférica, en Colorado, describió unos pequeños y prácticos aparatos capaces de convertir el agua de mar en un aerosol a base de pequeñas partículas que servirían para crear esas nubes. Se trata de una solución mucho más práctica de lo que parece a primera vista: sabemos que las nubes bajas marinas forman parte del enfriamiento natu-

ral, posible gracias a la emisión de dimetil sulfuro por parte de las algas marinas.

La sensación general era que se trataba de ideas con mucho potencial, pero Peter Liss, de la Universidad de East Anglia, señaló acertadamente que reducir la cantidad de calor que recibimos del sol sólo resolvía la mitad del problema; el dióxido de carbono generado por las actividades humanas continuaría aumentando su saturación en la atmósfera y acidificando los océanos al disolverse en ellos. Hay motivos para creer que la acidez disminuye la productividad de los océanos: a principios de 2005, Carol Turley y sus colegas del Laboratorio Marino de Plymouth anunciaron que el océano ya se había vuelto demasiado ácido para los organismos marinos y que ulteriores incrementos del dióxido de carbono disuelto en el agua podrían resultar desastrosos. La eliminación del dióxido de carbono en las fuentes que lo generan o en la misma atmósfera fue entonces objeto de largo debate. Desde el punto de vista de la ingeniería es factible filtrar el dióxido de carbono de los gases que salen por una chimenea, y no resulta extremadamente caro hacerlo. El problema es el enorme volumen que generamos y qué hacer luego con él. Una de las primeras soluciones que se propusieron fue enterrarlo en el mar. Por desgracia, el problema de la acidez que acabamos de mencionar la hace inviable. Podría enterrarse bajo tierra, en yacimientos de gas o petróleo agotados; como he mencionado antes, ésta es una opción que ya están aplicando los noruegos en un yacimiento de gas agotado bajo el océano. El dióxido de carbono también podría inyectarse bajo tierra en rocas apropiadas, pero no existe ninguna certeza de que tales depósitos fueran estables. La topografía natural podría hacer que los escapes fueran letales, como demostró un desastre natural hace unos pocos años en Camerún, donde un escape de dióxido de carbono de un lago volcánico extinguido fluyó como gas denso hacia un pueblo y asfixió a sus habitantes.

Parecemos no querer ver los peligros cada vez mayores de las

emisiones de dióxido de carbono. Siento la necesidad de recordar que las emisiones anuales de este gas, si pudiéramos solidificarlas, equivaldrían a una montaña de kilómetro y medio de altura y veinte kilómetros de circunferencia en su base. En agosto de 2005, la Autoridad de Decomisos Nucleares (NDA) informó de que harían falta más de 80.000 millones de euros para desmantelar las instalaciones nucleares británicas a lo largo de los próximos veinticinco años. Parece increíble que alguien pueda siquiera plantearse usar una cantidad de dinero tan descomunal para una tarea tan absurda, cuando sería mucho más rentable invertir esa suma en medios para eliminar el dióxido de carbono. En la conferencia, Ken Caldiera sugirió que el dióxido de carbono se eliminara por reacción con una suspensión de tiza en agua. Eso produciría una solución de bicarbonato cálcico que se podría almacenar o eliminar mucho más fácilmente que el dióxido de carbono en estado gaseoso.

Fue muy interesante la propuesta del científico norteamericano Klaus Lackner, relativa a un equipamiento capaz de extraer el dióxido de carbono directamente del aire y luego hacerlo reaccionar con un polvo elaborado a partir de la roca ígnea alcalina conocida como serpentina. El resultado sería carbonato de magnesio, un sólido estable que podría usarse en parte como material de construcción y que es relativamente fácil de almacenar. Un aspecto atractivo de esta idea es que el proceso puede realizarse en lugares próximos a los yacimientos de serpentina y no está limitado a las fuentes del dióxido de carbono o los lugares cercanos a ellas.

Entre los críticos del público se encontraba el eminente economista Shimon Awerbuch, que sabiamente advirtió que cualquier cosa que hiciéramos para paliar la amenaza del calentamiento global sólo induciría, mientras durase, a un consumo todavía mayor de combustibles fósiles, pues tal es la naturaleza humana.

Salimos de la conferencia convencidos de que, aunque la me-

jora del calentamiento global era un problema complicadísimo, no era del todo insoluble. Me pregunté si no habría un modo todavía más sencillo de enfriar la Tierra. Podríamos tratar de imitar el efecto que causan los grandes volcanes, como el Pinatubo, en Filipinas, que cuando entró en erupción en 1991 inyectó dióxido de sulfuro en la estratosfera, donde al oxidarse formó un aerosol de pequeñas gotitas de ácido sulfúrico. Esas gotitas flotaron en las capas superiores de la atmósfera durante varios años y contrarrestaron significativamente el efecto invernadero. Podríamos esparcir un aerosol compuesto por pequeñas gotitas de ácido sulfúrico en la estratosfera simplemente obligando a los aviones que vuelan a esa altura a consumir combustible que contuviera una pequeña cantidad de sulfuro. Las rutas aéreas más transitadas del hemisferio norte están predominantemente en la estratosfera. Descubrí después que esta idea ya había sido propuesta por el científico ruso M. I. Budyko en la década de 1970. Entonces fue rechazada argumentando que animaría el consumo de combustibles fósiles. Puede que hoy nos proporcionase el tiempo suficiente para organizar una retirada sostenible.

Los proveedores de combustible de aviación suelen *eliminar* los compuestos que contienen azufre del combustible para reducir la contaminación a nivel de suelo. No sería difícil lograr que el combustible contuviera entre un 0,1 y un 1 por ciento de azufre, la cantidad necesaria para producir aerosol. Por supuesto, habría problemas, como los derivados de la compleja interacción química con el ozono. Robert E. Dickinson, del Instituto de Física de la Universidad de Arizona, ha realizado un completo y detallado estudio de la mejora del cambio climático mediante aerosoles, que recomiendo a todos los interesados en saber más sobre este posible paliativo temporal al sobrecalentamiento.

Como sucede tantas veces, y debido a que no estamos acostumbrados todavía a pensar en Gaia en nuestra vida cotidiana, aquella excelente conferencia de Cambridge descuidó mencionar que la climatología sólo era parte del cambio global. Tan im-

portante como reducir las emisiones es la necesidad de reconocer que los ecosistemas naturales de la Tierra regulan el clima y la química del planeta y no existen meramente para aportarnos comida y materias primas. Nuestros intentos de reemplazar esos ecosistemas con tierras de cultivo o explotaciones forestales han llevado en años recientes, en Indonesia y en todas partes de los trópicos, al desastre tanto a escala regional como global. En un artículo en *New Scientist* de agosto de 2005, Fred Pearce escribió sobre los tremendos cambios que se estaban produciendo en la superficie de Siberia y Alaska, donde un reciente aumento de 3 °C en la temperatura ha llevado al deshielo de los tremedales congelados. Advertía que este calentamiento tiene potencial para liberar en la atmósfera enormes cantidades de metano que hasta ahora el hielo ha mantenido atrapadas bajo la superficie. Yo añadiría que, una vez los tremedales se sequen, serán pasto de los incendios forestales, con lo que se liberará todavía más dióxido de carbono en el aire. La alegría con la que se ha deforestado el Sudeste asiático para ganar tierras de cultivo y el desecamiento de tremedales en los cuales crecían árboles llevaron a que se produjeran incendios tan enormes que supusieron el equivalente al 40 por ciento del total de emisiones mundiales producidas por la quema de combustibles fósiles. Menos espectaculares, aunque igualmente destructivas, son las consecuencias a largo plazo de la ganadería con reses o cabras. Yo suelo decir que la combustión, el ganado y las sierras son letales y que deberíamos recurrir a ellos lo menos posible.

Después de asistir a ese imaginativo e interesante debate en Cambridge, no pude evitar pensar que para cualquier cosa que hagamos para cambiar la superficie o la atmósfera de la Tierra necesitamos algún tipo de juramento que nos vincule y contenga; algo similar al juramento hipocrático de los médicos: «No hacer nada que dañe a mi paciente.» Debería colocarse una advertencia en toda excavadora, sierra mecánica y aparato grande que consuma energía, que dijera: «No hacer nada que pueda dañar a la Tierra.» Igual que el juramento hipocrático, sólo sería

un desiderátum, pero al menos sería algo más que nuestra actual actitud de indiferencia hacia la piel y la atmósfera de la Tierra.

Alimentos y estilo de vida utópicos

Supongo que sería posible mantener a los ocho mil millones de personas que pronto habrá sobre la Tierra sin incapacitar a Gaia. Para ello deberíamos dejar de interferir en el metabolismo del planeta. En cuanto la fusión funcione, podremos tener toda la energía que necesitemos, pero la superficie cultivada seguirá siendo excesiva, y sin duda también seguiremos amenazando la supervivencia de los ecosistemas marinos. Por ello me gusta especular con la posibilidad de sintetizar la comida necesaria para ocho mil millones de personas y abandonar por tanto la agricultura. El consumo global de comida equivale a unos setecientos millones de toneladas de carbono anuales, lo que representa una pequeña parte de nuestro uso actual de carbono como combustible. Los elementos químicos necesarios para sintetizar alimentos procederían directamente del aire o, lo que todavía resultaría más conveniente, de compuestos de carbono extraídos de las emisiones de las centrales productoras de energía. El nitrógeno y el azufre también podrían proceder de esas emisiones y lo único que tendríamos que hacer sería añadir agua e indicadores. Estaríamos realizando la misma función que las plantas, pero utilizando energía de fusión en lugar de energía solar.

Lo que sintetizaríamos no serían los complejos elementos químicos naturales que hoy comemos en forma de brécol, aceitunas, manzanas, filetes o, más probablemente, hamburguesas y pizzas. Las nuevas y gigantescas factorías de comida se dedicarían a producir azúcares simples y aminoácidos. Ésa sería la base de cultivos de tejidos cárnicos y vegetales y de alimentos obtenidos a partir de cualquier organismo adecuado que pueda ser comido sin riesgo. La tecnología no sería muy distinta de la que

hoy utilizamos para destilar cerveza o fabricar antibióticos. Al hacerlo a escala suficiente como para alimentar a todo el mundo, la tierra que hoy cultivamos podría ser devuelta a Gaia y usada de nuevo para su verdadero propósito, la regulación del clima y la química del planeta. También podríamos detener la actual sobreexplotación de los océanos.

Asimismo me he preguntado si una nación pequeña y densamente poblada como Gran Bretaña podría convertirse en viable y compatible con Gaia a largo plazo dividiéndola en tres partes. Un tercio lo ocuparían las ciudades, industrias, puertos, aeropuertos y carreteras; el segundo tercio se dedicaría al cultivo intensivo, suficiente para cultivar cuanto necesitamos; y el último tercio se dedicaría por completo a Gaia y se le dejaría evolucionar libremente sin ningún tipo de interferencia o control.

La mayoría de nosotros preferimos vivir en ciudades, siempre que los depredadores de los bajos fondos estén fuera de nuestra vista. Las ciudades densas, compactas, sin la extensión de barrios residenciales en el extrarradio —como las propuestas por el arquitecto Richard Rogers en su libro *Ciudades para un pequeño planeta* (1997)—, necesitarían comparativamente poco terreno y puede que fueran lo bastante pequeñas como para que se pudiera ir a casi todas partes caminando. En una entrevista radiofónica, otro distinguido arquitecto, Norman Foster, nos recordó que más del 75 por ciento del uso de energía se dedica a los edificios y el transporte. Las ciudades densas y bien planificadas, facilitarían pues y harían menos penoso el ahorro de energía.

Para los viajes a larga distancia, y satisfacer así esa peripatética tendencia que todos parecemos tener, podríamos volver a usar veleros. No me refiero a aquellos magníficos barcos de cuatro mástiles cuyo manejo requería docenas de tripulantes, sino veleros automáticos de alta tecnología, parecidos a los modernos aviones, que viajaran siguiendo una ruta definida y constantemente actualizada para sacar el mayor provecho posible del viento. Puede que fueran más lentos que un reactor, pero como se suele decir, es

más importante el viaje que llegar. He realizado trece travesías transatlánticas en barco y mi experiencia personal es que es mucho más agradable ir en barco que en avión, pero si aun así se requiere transporte aéreo, ¿por qué no usar gigantescos dirigibles empujados por los vientos alisios? Podrían fabricarse con los mismos materiales que los actuales aviones y usar vapor como gas para elevarse.

Inconscientemente, estamos evolucionando hacia un estado en el que de forma mayoritaria usamos aparatos de bajo consumo. Qué invento más increíblemente afortunado fue el teléfono móvil. Por un lado explota la tendencia universal de los humanos a charlar y supone un coste energético mínimo, lo que lo convierte en uno de los inventos más ecologistas de la historia. Pequeños ordenadores muy eficientes están introduciéndose en nuestras vidas e invertimos en ellos gran parte de nuestro tiempo con un gasto mínimo de energía jugando a videojuegos o navegando por Internet. Puede que una civilización de alta tecnología y bajo consumo sea posible, pero será completamente distinta del mundo basado en el desarrollo sostenible y en las energías renovables que hoy imaginamos, donde la población trata de sobrevivir con comida orgánica producida por pequeños granjeros que cultivan su propia parcela de tierra.

Sea cual sea la forma futura que tome la sociedad, será tribal, por lo que seguirá habiendo pobres y privilegiados. En ese mundo ultratecnológico estará de moda pues entre los ricos comer comida real: verduras cultivadas en la tierra y cocinadas con carne y pescado. Nos hemos metido en el presente lío porque lujos como la calefacción en todas las estancias de la casa y el desplazamiento en coche privado se han convertido en necesidades cuya cobertura queda mucho más allá de la capacidad de la Tierra. Hará falta vigilancia para restringir el consumo de lujos que amenacen a Gaia. Debo insistir de nuevo en que su bienestar es lo primero y es más importante que nuestro propio bienestar, porque sin Gaia, simplemente, no podemos existir.

Una visión personal del ecologismo

El concepto de Gaia, un planeta vivo, es para mí la base de cualquier ecologismo coherente y práctico. Contradice la extendida creencia de que la Tierra es una propiedad, una finca, que existe sólo para ser explotada por la humanidad. Esa falsa convicción de que somos propietarios del planeta, o tan siquiera sus administradores, nos permite seguir hablando de políticas ecologistas con la boca pequeña mientras continuamos nuestras actividades como si nada. Basta una ojeada a cualquier periódico financiero para comprobar que nuestros objetivos son todavía el crecimiento y el desarrollo. Celebramos cada nuevo descubrimiento de yacimientos de petróleo o gas y contemplamos la actual subida de los precios del barril de crudo como un desastre y no como un incentivo para reducir el consumo y la contaminación. Pocos, incluso entre los ecologistas y los climatólogos, parecen comprender la potencial gravedad de la inminente catástrofe global que se avecina. Y, entre los que lo hacen, la comprensión está sólo en la mente consciente, no genera la reacción visceral de miedo que sería de esperar. Nos falta una intuición, un instinto, que nos diga cuándo Gaia está en peligro.

Así que ¿cómo adquirimos, o recuperamos, un instinto que reconozca no sólo la presencia del gran sistema Tierra sino también su estado de salud? No tenemos mucho en que basarnos

porque, durante los dos últimos siglos de reduccionismo, los conceptos de intuición e instinto han sido ignorados o, en el mejor de los casos, vistos con recelo. En el siglo XXI somos un poco más libres para elucubrar sobre ideas como el instinto y la intuición y parece probable que hace mucho tiempo, cuando nuestros antepasados eran simples animales acuáticos, ya hubiéramos desarrollado la capacidad de distinguir inmediatamente cualquier cosa viva en el océano mayoritariamente inorgánico. Este instinto primordial debió de resultar fundamental para nuestra supervivencia, pues las cosas vivas pueden ser comestibles, amistosas o letales. Es muy probable que esa habilidad siga formando parte de nuestro código genético, que esté grabada en nuestro cerebro y todavía la poseamos a plena capacidad. No necesitamos un doctorado en biología para distinguir un escarabajo de una piedra o una ciruela de un guijarro. Pero debido a la limitada naturaleza de sus orígenes, el reconocimiento instintivo de la vida está circunscrito al alcance de nuestros sentidos y no funciona para cosas más pequeñas o más grandes de lo que podemos ver. Reconocemos que un paramecio está vivo, pero sólo después de verlo por el microscopio. Incluso los biólogos, cuando piensan en la biosfera, ignoran las cosas pequeñas que no pueden ser observadas a simple vista. Mi amiga y colaboradora Lynn Margulis ha subrayado más que nadie la importancia de los microorganismos en Gaia, y resumió sus ideas en el libro que escribió en 1986 junto con Dorian Sagan, *Microcosmos*. La Tierra nunca había sido vista como un todo hasta que los astronautas nos trajeron su imagen desde el espacio exterior y vimos algo muy distinto de una mera bola de roca enorme envuelta en una fina capa de aire y agua. Algunos astronautas, especialmente los que fueron a la luna, quedaron profundamente conmovidos y consideraron la Tierra entera como su hogar. De alguna manera, debemos pensar como ellos y ampliar nuestro reconocimiento instintivo de la vida para que incluya a la Tierra.

La capacidad para reconocer instantáneamente la vida, y otros instintos como el miedo a las alturas o a las serpientes, forman parte de la larga historia de nuestra evolución, pero hay otro tipo de instinto que no es innato sino que se desarrolla por condicionamiento durante la infancia. Los jesuitas descubrieron que la mente de un niño podía moldearse para que aceptara su fe y que, una vez conseguido, el niño mantenía la fe como un instinto durante toda su vida. Moldeamientos similares aunque distintos son los que fijan la lealtad de por vida a una tribu o nación. La mente de un niño es lo bastante plástica como para conformarla para que sea fiel a algo tan trivial como un equipo de fútbol o tan potencialmente siniestro como una ideología política. Abundantes experiencias de este tipo sugieren que, si queremos, podemos hacer de Gaia una creencia instintiva si enseñamos a nuestros niños el mundo natural, les explicamos que lo que ven es Gaia y les demostramos que forman parte de ella.

Los fundadores de las grandes religiones del judaísmo, cristianismo, islamismo, hinduismo y budismo vivieron en tiempos en que éramos muchos menos y teníamos formas de vida que no suponían una carga para la Tierra. Aquellos hombres santos no podían imaginar el estado del planeta mil años después y, por tanto, como no podía ser de otra manera, se centraron en los asuntos humanos. Hacían falta reglas y consejos para que los individuos, las familias y las tribus se portasen bien. La familia humana estaba creciendo en el mundo natural de Gaia y, como niños, dimos nuestro hogar por supuesto y nunca cuestionamos su existencia. El éxito de esos antecedentes religiosos se mide por su persistencia a lo largo de siglos y siglos de expansión de la población. Yo también crecí en un ambiente cristiano y creo que el cristianismo todavía guía de forma inconsciente mi forma de pensar y mi conducta. Ahora debemos enfrentarnos a las consecuencias de haber contaminado nuestro hogar planetario, y en el

futuro nos esperan peligros mucho más difíciles de comprender o sobrellevar que los conflictos tribales y personales del pasado. Nuestras religiones todavía no nos ofrecen reglas y consejos para nuestra relación con Gaia. El concepto humanista de desarrollo sostenible y el concepto cristiano de administradores de la Tierra están viciados por una *hubris* inconsciente. Carecemos tanto de los conocimientos como de la capacidad para ello. No estamos mejor cualificados para ser los administradores o promotores de la Tierra de lo que las cabras lo están para ser jardineros.

Quizá los cristianos necesitamos un nuevo Sermón de la Montaña que sienta las bases para vivir en armonía con la Tierra y explique la reglas para conseguirlo. Deseo vivamente que las religiones y los humanistas seculares puedan recuperar el concepto de Gaia y reconozcan que los derechos y necesidades humanas no son lo único que importa; los que tengan fe deberán asumir que la Tierra forma parte de la creación divina y enfadarse contra quienes la profanan. Hay señales de que los líderes eclesiásticos avanzan hacia una teología de la creación que podría incluir a Gaia. Rupert Shortt, en su libro, *God's Advocates* (2005), reprodujo una entrevista con el arzobispo de Canterbury, Rowan Williams:

PERIODISTA: La siguiente pregunta es que los milagros parecen desvanecerse conforme avanza la ciencia. No hay pruebas de la existencia de milagros y se los considera intrínsecamente poco plausibles.

ARZOBISPO: Es un tema muy importante, pues afecta a la cuestión de la acción divina. De nuevo, creo que debe estudiarse desde la perspectiva de una doctrina global de Dios más que empezar examinando específicamente cualquier ejemplo concreto.

Permítame explicarlo de la siguiente manera. Para un creyente, la relación de Dios con la creación no es ni la vieja imagen de alguien que da cuerda al reloj y luego lo abandona ni la de un director de teatro ni, lo que sería peor, la de un titiritero que constantemente interviene en lo que está pasando.

Es la relación de una actividad externa que constantemente proporciona energía, convierte en real y activo lo que existe. Y a veces siento que buena parte de nuestra teología ha perdido esa extraordinaria y excitante sensación de que el mundo está penetrado por la energía divina en términos teológicos clásicos.

Al leer estas reflexivas e impresionantes respuestas me sentí transportado de vuelta a la década de 1970, cuando Richard Dawkins y otros científicos se opusieron violentamente al concepto de Gaia utilizando argumentos similares a los que hoy utilizan como ateos para oponerse a los conceptos de Dios y de creación. El debate con ellos sobre Gaia se ha cerrado, creo, con la concesión de que Gaia es real en el sentido de que la Tierra se autorregula pero con un creciente reconocimiento de que muchos fenómenos naturales son incognoscibles y que nunca podrán ser explicados en los términos reduccionistas clásicos. Me refiero a fenómenos como la conciencia, la vida, la emergencia de una autorregulación y una creciente lista de cosas que suceden en el mundo de la física cuántica. Es hora, creo, de que los teólogos compartan con los científicos esa maravillosa palabra que es «inefable», un término que expresa la creencia de que Dios es inmanente pero incognoscible.

Conceptos importantes como Dios o Gaia no son comprensibles en el limitado espacio de nuestras mentes conscientes, pero sí tienen sentido en esa parte de nosotros en la que reside la intuición. Nuestros pensamientos inconscientes profundos no se construyen de forma racional, sino que emergen plenamente formados, igual que nuestra conciencia y la innata capacidad de distinguir el bien del mal. Quizá por ello los primeros cuáqueros sabían que la voz interior no procede de nuestro juicio consciente. Nuestras mentes conscientes racionales no son más capaces de pensamientos profundos de lo que la pequeña pantalla de un teléfono móvil contemporáneo es capaz de presentar en toda su gloria un cuadro de Vermeer. El extraordinario poder de nues-

tras mentes inconscientes se expresa en cosas cotidianas, como el caminar, montar en bicicleta o atrapar una pelota. Si tuviéramos que realizar cualquiera de esas cosas mediante el pensamiento consciente, fracasaríamos estrepitosamente; lograrlas automática e instintivamente requiere un entrenamiento largo y tedioso. Lo mismo puede decirse de los inventores, quienes, tras un largo aprendizaje de su arte, imaginan, diseñan y construyen instrumentos que van todavía más allá de lo esperado cuando empiezan a funcionar; los físicos, de forma parecida, explotan los increíbles misterios de los fenómenos cuánticos a pesar de no comprenderlos conscientemente.

La historia de la ciencia demuestra que es necesario mantener lo bueno de las pasadas interpretaciones del mundo e irle añadiendo nuevos conocimientos conforme aparecen. Las ideas de Newton iluminaron la física durante trescientos años. La relatividad de Einstein no invalidó la física newtoniana, sino que la amplió. De forma similar, la gran visión que Darwin tenía de la evolución elevó la biología de actividad catalogadora a ciencia, pero ahora empezamos a ver que el darwinismo no lo explica todo. La evolución no es sólo una propiedad de los organismos. Lo que evoluciona es todo el sistema Tierra, con sus partes vivas e inertes coexistiendo en una entidad profundamente entrelazada. Es absurdo pensar que podemos explicar racional y conscientemente la ciencia a medida que ésta evoluciona. Tenemos que usar el burdo instrumento de la metáfora para traducir ideas conscientes en comprensión inconsciente. Así como la metáfora de una Tierra viva usada para explicar Gaia fue erróneamente rechazada por los científicos reduccionistas, puede que también se equivoquen al rechazar las metáforas y fábulas de los textos sagrados. Puede que sean burdas, pero sirven para despertar una comprensión intuitiva de Dios y la creación que no pueden ser falseados mediante argumentos racionales.

Como científico sé que la teoría de Gaia es provisional y que es probable que en el futuro sea desplazada por una teoría mayor y más completa de la Tierra. Pero por ahora la veo como la semilla de la que puede germinar un ecologismo instintivo, un ecologismo que revelaría instantáneamente la salud o enfermedades del planeta y ayudaría a mantener el mundo saludable.

Los pensamientos e ideas de los verdes son tan diversos y competitivos como las plantas de un ecosistema boscoso y, a diferencia de éstas, ni siquiera comparten la espectral pureza de color de la clorofila. Las ideas verdes van desde el rojo al azul. Los verdes totalitarios, a veces llamados ecofascistas, querrían ver a la mayoría de los demás humanos exterminados en un genocidio y quedarse una Tierra perfecta para ellos solos. En el otro extremo están aquellos que querrían que los derechos humanos y el estado del bienestar se extendieran a todo el mundo y de alguna manera esperan que la suerte, Gaia o el desarrollo sostenible permitan que ese sueño se convierta en realidad. Los verdes podrían ser definidos como aquellos que han percibido el deterioro del mundo natural y querrían hacer algo al respecto. Comparten una base de ecologismo, pero difieren mucho en cuanto a los medios con los que alcanzar sus fines. Quizá los argumentos verdes más humanos estén en dos libros de Jonathon Porritt, *Seeing Green* (1984) y *Actuar con prudencia: ciencia y medio ambiente* (2000). Porritt ha hecho más que nadie que yo conozca para persuadir a los poderosos de Europa de que piensen y actúen de una forma medioambientalmente coherente, y ha dedicado buena parte de su vida a esa causa de forma por completo altruista.

Desde que le conocí en Dartington en 1982 he considerado a Jonathon un amigo, y por lo tanto lamento profundamente que en los últimos dos años hayamos seguido caminos distintos; pero lo importante es que, a pesar nuestras diferencias sobre los méritos de la energía nuclear y la energía eólica, todavía tenemos

mucho en común. En los capítulos 5 y 6 he planteado una serie de críticas al pensamiento y las actividades de los verdes, pero lo he hecho desde dentro de la comunidad ecologista, no desde fuera, como en el reciente libro de Dick Taverne *The March of Unreason* (2005), en el que expresa la opinión de un liberal ilustrado que critica, con razón, a los verdes por su poco práctico romanticismo. Mis sentimientos respecto al ecologismo moderno son similares a los de una directora de una escuela de barrio conflictivo o los del coronel de un regimiento recién creado de jóvenes licenciosos y desobedientes por naturaleza: ¿Qué diablos hay que hacer para disciplinar y organizar a todos esos revoltosos individuos?

La raíz de nuestros problemas con el medioambiente procede del crecimiento incontrolado de la población. No hay un número concreto de personas que pueda ser fijado como ideal: la cantidad varía al ritmo de nuestro modo de vida en el planeta y según el estado de salud de la Tierra en cada momento. Ha variado de forma natural desde unos pocos millones cuando éramos cazadores y recolectores a una fracción de mil millones como granjeros; pero ahora se ha elevado a seis mil millones, lo que resulta totalmente insostenible en el estado actual de Gaia, incluso si tuviéramos la voluntad y la capacidad de contenernos.

Si pudiéramos remontarnos, por ejemplo, a 1840 y empezar de nuevo, siguiendo desde el principio unas pautas adecuadas y compatibles con la Tierra, quizá pudiéramos alcanzar una población estable de seis mil millones. En ese caso, sabríamos que hay que limitar el uso de combustibles fósiles, que la ganadería basada en reses y ovejas utiliza demasiada tierra y no es sostenible y que es preferible el cultivo de la tierra mediante arado teniendo como animales de granja a cerdos y gallinas, alimentados básicamente con residuos vegetales. Puede incluso que lográramos hacer sostenible una población de diez mil millones de personas alimentándonos con comida sintética y viviendo en ciudades compactas, densas y bien planificadas.

Si podemos superar la amenaza de un cambio climático letal causado por la masiva destrucción de ecosistemas y la contaminación global, nuestra siguiente tarea será asegurarnos de limitar nuestro número y mantenerlo dentro de lo que Gaia puede alimentar. Personalmente, creo que lo más adecuado sería tratar de llegar a una población de entre quinientos y mil millones de personas, con lo que podríamos vivir de muchas formas distintas sin dañar por ello a Gaia. Al principio, puede parecer una tarea difícil, desagradable o incluso imposible, pero los acontecimientos del último siglo sugieren que podría ser mucho más fácil de lo que creemos. En las sociedades prósperas, cuando las mujeres tienen la oportunidad de desarrollar su potencial, escogen voluntariamente ser menos fecundas. Es sólo un pequeño paso hacia un estilo de vida más acorde con Gaia, y ha creado problemas al distorsionar la pirámide de edades de la sociedad y provocar disfunciones dentro de las familias, pero es una semilla de optimismo de la que podrían surgir otros controles voluntarios y, sin duda, es mucho mejor que el frío concepto de la eugenesia, que es insostenible por su inmoralidad intrínseca. Al final, como siempre, Gaia se encargará de ello y eliminará a todos los que hayan infringido sus reglas. Tenemos que escoger entre aceptar este destino o planificar nuestro propio destino contando con Gaia. Escojamos lo que escojamos, siempre tenemos que preguntarnos cuáles serán las consecuencias.

La regulación de la fecundidad forma parte del control de población, pero la regulación de la mortalidad también es importante. En eso, también parece que la gente de las sociedades desarrolladas escoge medios adecuados para morir. Tradicionalmente, los hospitales han sido para los ancianos lugares donde morir con la menor incomodidad y dolor posibles; los hospicios inauguraron ese modelo y contribuyeron a hacer aceptable esta labor, por otra parte innombrable, de los sistemas sanitarios. Según Hodkinson, en su libro *An Outline of Geriatrics*, un 25 por ciento de los ancianos que entra en los hospitales muere al cabo

de dos meses. Ahora que la Tierra está en peligro inminente de efectuar una transición a un estado cálido e inhóspito, parece in-moral extender ostentosamente nuestra vida más allá de su límite biológico normal de unos cien años. Cuando yo era un joven posdoctorado de la Facultad de Medicina de Harvard, en Boston, un eminente pediatra se quejó de la disparidad que existía entre los fondos dedicados a la investigación del cáncer y los dedicados a la investigación de las enfermedades infantiles, que eran diez veces menores. Sospecho que esa diferencia sigue existiendo hoy.

Hemos borrado casi todos los límites físicos al crecimiento de nuestra especie: podemos vivir en cualquier lugar, desde el Ártico hasta los trópicos y, mientras dure, tenemos suministro de agua canalizado hasta nuestros hogares; nuestro único depredador significativo es hoy algún esporádico microorganismo que brevemente desencadena una pandemia. Si queremos continuar siendo una civilización que sobrevive a las catástrofes naturales, tenemos que establecer nuestras propias limitaciones al crecimiento, concretarlas y aplicarlas de inmediato.

Más de la mitad de la población de la Tierra vive en ciudades y, por lo tanto, apenas puede ver, sentir u oír el mundo natural. Por lo tanto, nuestro primer deber si realmente somos verdes, es convencerles de que el mundo real es la Tierra viva y de que ellos y sus ciudades forman parte de él y dependen completamente del mismo para seguir existiendo. Debemos dar ejemplo con nuestras vidas. En asuntos puramente humanos, Gandhi demostró cómo hacerlo; sus equivalentes modernos podrían proceder del movimiento de Ecología Profunda, fundado por el filósofo noruego Arne Naess. Comparto profundamente sus ideas, y volveré sobre ellas en el siguiente capítulo. En cierto modo, mi viejo amigo Edward Goldsmith es uno de los pocos que han tratado de vivir y pensar como un ecologista profundo. Su erudito y provocador libro *The Way* es una lectura esencial para todo el que quiera saber más de la filosofía verde. Fue además el fundador de *The Ecologist*, una revista dedicada a las ideas y políticas

ecologistas. Ahora la dirige siguiendo esos mismos objetivos su nieto, Zac Goldsmith. La diferencia entre nosotros está en nuestros orígenes. Yo, como no puede ser de otra manera, dado que mi primera experiencia en la ciencia fueron veintitrés años de investigación médica, pienso como un médico o un cirujano. Por eso me gustaría que usáramos nuestras habilidades técnicas para remediar los males de la Tierra y no sólo los males de los seres humanos. Teddy Goldsmith y los ecologistas profundos, de origen humanista, desprecian la tecnología moderna, prefieren una tecnología y medicina alternativas y dejarían que la Naturaleza siguiera su curso. Reconozco que puede que tengan razón y que los males iatrogénicos, causados por el tratamiento de la enfermedad, son muy comunes, pero no puedo permanecer impasible mientras la civilización se embriaga hasta la muerte de combustibles fósiles. Por eso creo que la energía nuclear, por mucho que se la tema, es un remedio necesario.

La comunidad verde debería haber sido reticente a formar grupos de presión y partidos políticos, pues ambas instituciones deben dedicarse a la gente y a sus problemas y, como los megáfonos, amplifican las voces demagógicas de sus líderes. Nuestra tarea como individuos es pensar primero en Gaia. Eso no nos hace de ningún modo inhumanos o crueles; nuestra supervivencia como especie depende por completo de si somos capaces de aceptar la disciplina de Gaia.

A menudo me preguntan: «¿Cuál es nuestro lugar en Gaia?» Para responder, tenemos que volver la vista atrás y remontarnos a los tiempos en que éramos un primate que vivía en Gaia y que se diferenciaba de las demás especies sólo en aspectos secundarios. Nuestro papel era el mismo que el de los demás animales: reciclar carbono y otros elementos. Éramos omnívoros y retornábamos al aire, en forma de dióxido de carbono, el carbono que consumíamos al comer animales y plantas. Teníamos nuestro ni-

cho en el sistema evolutivo y probablemente nuestra población no superaba el millón de individuos.

Como depredadores inteligentes, estábamos equipados con manos y cerebros útiles que podían alterar los límites de nuestro nicho de formas que quedaban fuera del alcance de otros animales. Podíamos lanzar piedras, usar herramientas simples de piedra y madera, y hacerlo mejor que otros primates.

Muchos animales, incluso algunos insectos como las abejas y las hormigas, pueden comunicarse. Utilizan alarmas y señales de apareamiento y se transmiten información detallada sobre el tamaño, dirección y distancia de las fuentes de alimento. Los humanos tuvimos la fortuna de desarrollar, a través de una mutación, la habilidad de modular nuestras voces lo bastante como para establecer los rudimentos de un primitivo lenguaje hablado. Este cambio fue tan profundo para nuestros antepasados como el ordenador o el teléfono móvil lo han sido para los humanos modernos. Con el lenguaje, los miembros de la tribu podían compartir experiencias; podían organizarse contra la sequía y la hambruna y protegerse de los depredadores. Para entonces ya éramos el pujante *Homo Sapiens* y puede que fuéramos los primeros animales que modificaran conscientemente su entorno en beneficio propio. Y lo que todavía es más destacable, utilizamos fuegos naturales encendidos por rayos para cocinar, limpiar tierras y cazar.

Los más ingenuos de entre la *intelligentsia* urbana creen que los primeros humanos vivían en armonía con el mundo natural. Algunos de ellos van todavía más allá y recogen fondos para preservar lo que ven como comunidades naturales que viven en remotas regiones, como las selvas tropicales. Creen que el mundo moderno es inteligente pero malo y que aquellos estilos de vida simples eran naturales y buenos. Están totalmente equivocados. No debemos pensar que los primeros humanos fueran mejores o peores que nosotros; de hecho, probablemente se nos parecían mucho.

Otros consideran que somos superiores por nuestra cultura y nuestras tendencias intelectuales; nuestra tecnología nos permite conducir coches, usar procesadores de textos y recorrer grandes distancias por aire. Algunos vivimos en casas con aire acondicionado y los medios de comunicación nos ofrecen abundante entretenimiento. Creemos que somos más inteligentes que la gente de la edad de piedra y, sin embargo, ¿cuántos humanos sabrían hoy vivir en cuevas? ¿Cuántos sabrían cómo encender hogueras para cocinar o hacer ropa y zapatos de pieles de animales o fabricar flechas y arcos lo bastante buenos como para mantener a su familia alimentada? Estoy en deuda con Jerry Glynn y Theodore Gray por subrayar este punto en su guía del usuario del programa de ordenador *Mathematica*, un procesador de matemáticas. Usando como ejemplo el hecho de que los niños de hoy casi no saben sumar una columna de números sin una calculadora, apuntan que eso no es necesariamente malo, pues cada etapa de desarrollo humano comporta que toda una serie de habilidades sustituyan a otras que ya no se necesitan. La gente de la edad de piedra, pues, debían de tener unas vidas tan complejas como las nuestras.

Un grupo de estos primeros humanos emigró a Australia en un momento en que el nivel del mar era mucho más bajo que ahora y el viaje en barco o balsa no era ni largo ni difícil. De este grupo descienden los aborígenes australianos modernos, a los que a menudo se pone como ejemplo de humanos en estado de naturaleza que viven en paz con la Tierra. Y, sin embargo, su método de despejar tierras mediante incendios puede que haya destruido los bosques del continente australiano tan eficazmente como lo harían hombres modernos con sierras eléctricas. Que la paz sea con vosotros, aborígenes. Individualmente no sois ni mejores ni peores que nosotros. Sólo que nosotros somos más y contamos con más medios.

A través de Gaia veo la ciencia y la tecnología como rasgos humanos que tienen un gran potencial para el bien y para el mal. Puesto que formamos parte de Gaia y no somos algo ajeno a ella, nuestra inteligencia es una nueva habilidad con la que ella cuenta, además de un nuevo peligro. La evolución es reiterativa y comete errores, pero con el tiempo ese gran corrector, la selección natural, mantiene el mundo limpio y ordenado. Quizá la equivocación más grande de Gaia y nuestra haya sido el abuso consciente del fuego. Puede que cocinar la carne en una hoguera fuera aceptable, pero la destrucción deliberada de ecosistemas enteros mediante incendios con el único objetivo de hacer salir a los animales que contenían fue sin duda nuestro primer pecado contra la Tierra viva. Nos ha perseguido desde entonces y la combustión podría ser hoy nuestro auto de fe y la causa de nuestra extinción.

CAPÍTULO 9

Después del fin de trayecto

Como los norn de *El anillo de los Nibelungos* de Wagner, hemos llegado al fin de nuestra soga, y la cuerda, cuyo trenzado marca nuestro destino, está a punto de romperse.

Gaia, la Tierra viva, es vieja y no tan fuerte como hace dos mil millones de años. Se esfuerza por mantener el planeta lo bastante frío para sus millares de formas de vidas contra el implacable aumento del calor del sol. Pero para hacer su tarea todavía más difícil, una de esas formas de vida, los humanos, unos respondones animales tribales con sueños de conquista incluso de otros planetas, han tratado de utilizarla en su único y exclusivo beneficio. Con una insolencia pasmosa, han tomado los depósitos de carbono que Gaia había enterrado para que la atmósfera mantuviera un nivel de oxígeno adecuado y los han quemado. Al hacerlo, han usurpado la autoridad de Gaia y le han impedido que cumpla con su función de mantener el planeta en estado adecuado para la vida. Esos humanos sólo pensaban en su propia comodidad e intereses.

En algún momento de finales de la década de 1960, paseando por el camino que rodea el pueblo de Bowerchalke con mi amigo y casi vecino William Golding, hablábamos de una reciente visita que yo había realizado al Laboratorio de Propulsión a Reacción, en California, y sobre la idea de que hubiera vida en

otros planetas. Le dije que yo creía que tanto Marte como Venus carecían de vida y que la Tierra era más que un planeta con vida, y le expliqué por qué creía que en cierto modo estaba vivo. Contestó inmediatamente: «Si te propones lanzar una idea tan importante, tienes que ponerle un nombre adecuado. Te propongo que lo lles Gaia.» Me sentí verdaderamente agradecido por el regalo de ese nombre tan sencillo y poderoso para mis ideas sobre la Tierra. Lo acepté encantado, como científico que reconoce una referencia literaria anterior; igual que otros, en siglos anteriores, se refirieron a Gaia cuando hablaban de las ciencias de la geología, geografía y similares. En aquellos tiempos sabía muy poco de la historia de Gaia como diosa griega, y ni imaginaba que los seguidores de la *New Age*, que entonces empezaba, la considerarían de nuevo como diosa mítica. De alguna forma, aunque quizá perjudicaran la aceptación de la teoría por la comunidad científica, los partidarios de la *New Age* fueron más clarividentes que los científicos. Hoy sabemos que el gran sistema de la Tierra, Gaia, se comporta como otras diosas míticas, Khali y Némesis. Actúa como una madre que puede ser cariñosa pero también despiadadamente cruel hacia los transgresores, incluso si forman parte de su progeie.

Sé que personalizar el sistema Tierra como Gaia, como he hecho a menudo y continuaré haciendo en este libro, irrita a los científicamente correctos, pero no me arrepiento, porque necesitamos más que nunca metáforas para conseguir que se difunda la comprensión de la verdadera naturaleza de la Tierra y se entiendan los terribles peligros que nos esperan en el futuro.

Tras cuarenta años viviendo con el concepto de Gaia creí que la conocía, pero ahora me doy cuenta de que había subestimado la severidad de su castigo. Sabía que nuestra autorreguladora Tierra había evolucionado favoreciendo a las especies que dejaban un mejor entorno para su progeie y eliminando las que destruían su hábitat, pero no me di cuenta de que habíamos sido destructivos hasta tal punto y habíamos dañado tan gravemente

la Tierra que ahora Gaia nos amenaza con la pena capital: la extinción.

No soy pesimista y creo que al final prevalecerá el bien. Cuando nuestro astrónomo real, sir Martin Rees, hoy presidente de la Royal Society, publicó en 2004 su libro *Nuestra hora final*, se atrevió a pensar y escribir sobre el fin de la civilización y de la raza humana. Lo disfruté como un buen libro, lleno de sabiduría, pero lo tomé como poco más que una especulación entre amigos, nada por lo que valiera la pena perder el sueño.

¡Qué equivocado estaba! Fue profético, pues hoy las pruebas que nos llegan de los observatorios de todo el mundo nos hablan de un cambio inminente en nuestro clima hacia otro que fácilmente puede ser descrito como un infierno: tan caliente, tan letal, que sólo un puñado de los miles de millones que hoy pueblan el orbe sobrevivirán. A pesar de nuestras buenas intenciones, hemos dejado el planeta hecho un desastre. E incluso ahora, cuando las campanas han empezado a doblar por nosotros, seguimos hablando de desarrollo sostenible y energías renovables como si Gaia fuera a considerar esas pobres ofrendas un sacrificio aceptable. Somos como un familiar descuidado e insensato cuya presencia es destructiva y que parece creer que le basta con disculparse. Formamos parte de la familia de Gaia y se nos valora como tales, pero hasta que no dejemos de actuar como si el bienestar humano fuera lo único que importa y excusa suficiente para nuestro comportamiento, todo debate de más desarrollo de cualquier tipo es inaceptable.

Nuestra reacción cuando sucede una catástrofe es exclamar: «¿Cómo puede haber dejado Dios que pase esto?» Y ahora que es probable que la mayoría de nosotros muera ¿se puede seguir creyendo en Dios? Darwin describió una vez el proceso de la evolución como «tosco, despilfarrador, idiota, bajo y horriblemente cruel». Pero seguramente no es tan cruel, o culpable, como lo hemos sido y todavía lo somos nosotros, arrastrando al desastre a muchas otras especies inocentes.

Es fácil pensar en nosotros mismos y nuestras familias como si estuviéramos encarcelados en una celda de tamaño planetario —una especie de corredor de la muerte cósmico— esperando la inevitable ejecución. Pasarán los días y los años, continuarán sucediéndose las estaciones y seguiremos alimentados y entretenidos y, si tenemos fe, pediremos a Dios un aplazamiento. Algunos, como Sandy y yo, probablemente burlaremos al verdugo y moriremos antes de que se ejecute la condena. Las consecuencias más crueles de lo que hemos hecho entre todos las sufrirán nuestros hijos y nietos.

Soy un científico y pienso en términos de probabilidades, no de certezas, y por tanto soy agnóstico. Pero en el fondo de todos nosotros existe una profunda necesidad de confiar en algo más grande y yo he elegido depositar mi confianza en Gaia, como declaré en mi autobiografía, *Homenaje a Gaia*, en 2000. ¿Acaso se ha puesto alguna confianza más a prueba?

Como en todas las crisis, regreso a mi amigo y mentor, sir Crispin Tickell, y encuentro respuesta en forma de un discurso titulado «La Tierra, nuestro destino», que pronunció en la catedral de Portsmouth en 2002. Fue una evaluación sabia, conmovedora y útil de nuestro lugar en el medioambiente. Los últimos párrafos del texto fueron:

La ideología de la sociedad industrial, basada en el crecimiento económico, niveles de vida cada vez más altos y la fe en que la tecnología lo arreglará todo, es insostenible a largo plazo. Para cambiar nuestras ideas tenemos que trabajar hacia el objetivo de una sociedad humana en la que la población, el uso de los recursos, el procesamiento de los residuos y el medioambiente muestren en términos generales un saneado balance.

Sobre todo, tenemos que contemplar la vida con respeto y asombro. Necesitamos un sistema ético en el cual el mundo natural tenga valor no sólo en cuanto útil para el bienestar humano, sino por sí mismo. El universo es algo interno además de externo.

Concluyó con las palabras de la abadesa del siglo XII Hildergarda de Bingen, que escribió lo siguiente sobre Dios:

*Yo prendo la belleza de los prados,
yo muevo las aguas,
yo ardo en el sol y en la luna y las estrellas...
Yo adorno toda la Tierra,
yo soy la brisa que nutre todo lo verde...
Yo soy la lluvia que surge del rocío y hace que las hojas
rían con la alegría de estar vivas.
Regocijémonos igual que ellas.*

En cierto modo, el mundo humano está repitiendo la tragedia del avance de Napoleón sobre Moscú en 1812. En septiembre de ese año, cuando alcanzó la capital rusa, ya había llegado demasiado lejos, y sus valiosos suministros se iban disminuyendo día a día mientras él consolidaba la captura de la ciudad. No era consciente de que las irresistibles fuerzas del General Invierno estaban de parte de los rusos, lo que les permitió contraatacar y recuperar lo que habían perdido. Napoleón sólo hubiera evitado la derrota retirándose inmediatamente de forma ordenada y profesional, de modo que su ejército viviera para luchar otro día. En el medio militar se considera que el talento de un general se mide por su capacidad de organizar y llevar a cabo con éxito una retirada.

Los británicos recordamos con orgullo la retirada de nuestro ejército de Dunkerque, en 1940, y no lo vemos como una derrota ignominiosa. Ciertamente no fue una victoria, pero fue una retirada exitosa y sostenible. Ha llegado la hora de planear una retirada de la insostenible posición que hoy hemos alcanzado a través del uso inapropiado de la tecnología; es mucho mejor retirarnos ahora, mientras todavía disponemos de energía y tiempo. Como Napoleón en Moscú, tenemos demasiadas bocas que alimentar y nuestros recursos disminuyen día tras día

mientras postergamos la decisión. La retirada de Dunkerque no fue sólo resultado de una adecuada planificación estratégica desde el alto mando: contribuyó a ella una sorprendente manifestación de espontáneo altruismo por parte de un gran número de civiles que arriesgaron sus vidas en sus pequeños barcos para cruzar el canal y rescatar a su ejército. Es preciso que todo el mundo perciba el peligro como real e inmediato, de modo que la gente se movilice espontáneamente y no escatime esfuerzos en la retirada ordenada y sostenible hacia un mundo en que intentar vivir en armonía con Gaia.

Economistas y políticos deben conciliar la perentoria necesidad de un cese rápido y controlado de las emisiones producidas por el consumo de combustibles fósiles con las necesidades de la civilización humana. El crecimiento económico crea la misma adicción entre los políticos que la heroína en los toxicómanos. Quizá habría que mantener el síndrome de abstinencia a raya usando algún sustituto adecuado, una especie de metadona económica. Yo diría que los teléfonos móviles, Internet y el entretenimiento a través de los ordenadores son pasos en la dirección correcta; consumen tiempo y energía que de otro modo podría utilizarse viajando en coche o avión. Por otra parte, contamos con la tecnología de la información y con un uso eficiente de energía, por ejemplo con los diodos de emisión de luz blanca (WLED) para ver de noche. Si la tecnología de este tipo se convirtiera en la fuente principal de crecimiento económico, viviríamos nuestras vidas sin causar daño y llenaríamos parte del tiempo que hoy consumimos con viajes, que cuestan mucho combustible. En cierto sentido, estamos evolucionando en esa dirección.

Hasta hace muy poco, aunque muchos pensábamos que el cambio climático podía suceder y creíamos en las previsiones del IPCC, de algún modo nuestro conocimiento parecía teórico o académico, no un aviso de que algo letal estaba a punto de suceder. Lo que me hizo comprender el peligro fue un acontecimien-

to menor. El miedo se cristalizó como si fueran agujas afiladas en los espacios supersaturados de mi mente cuando, en octubre de 2003, mis casi vecinos, Christine y Peter Hadden, me contaron que se estaba proyectando colocar enormes turbinas eólicas en los prados cercanos a nuestras casas. De repente comprendí lo que nuestros políticos querían decir cuando hablaban de desarrollo sostenible y energías renovables, y lo que le iba a pasar a la última campaña que quedaba en el oeste de Devon. Casi podía oírles decir: «Recojamos la energía del viento y plantemos biocombustibles para que los coches de nuestros votantes urbanos puedan seguir funcionando. Podemos hacerlo sin contaminar el aire ni utilizar esa horrible, fea y temible cosa nuclear.»

Al hablar de una campaña me refiero a granjas y comunidades que viven en armonía con la Tierra y representan un ecosistema que, aunque dominado por los humanos, deja mucho espacio para bosques, arbustos y prados. Antes de 1940 la mayor parte del sur de Inglaterra era así y la mayoría de las tierras que continúan en ese estado están en el oeste, especialmente en Devon. Para mí, estas últimas áreas de campo eran la cara de Gaia, y estaba a punto de contemplar cómo las sacrificaban. Me enfurecí y comprendí con una claridad espantosa la crisis que se avecinaba con el calentamiento global. Convertir el campo en un parque industrial de energía eólica sólo para poder presumir de ecologismo demuestra lo lejos que están nuestros líderes de entender el peligro al que nos enfrentamos. Para mantener la comodidad de sus enclaves urbanos, estarían dispuestos a que el desarrollo industrial devastase las pocas zonas de campo que quedan.

Me mudé a Devon occidental hace veintiocho años para escapar de las excavadoras que estaban masacrando los setos y prados de Wiltshire. Cometí el error de pensar que la tierra de cultivo de Devon era demasiado pobre como para que valiera la pena desarrollarla y que, por tanto, aquí me dejarían vivir en paz en el campo que amaba. No había tenido en cuenta la fuerza que

tienen las ideologías bienintencionadas sumadas a la fe casi religiosa en la energía renovable.

A Sandy y a mí nos llaman «NIMBY»⁶ porque luchamos contra su solución final a la crisis energética. Quizá seamos NIMBY, pero vemos a todos esos políticos urbanos como una especie de médicos insensatos que han olvidado su juramento hipocrático y tratan de mantener con vida a una civilización moribunda por medio de una inútil e inapropiada quimioterapia, cuando ya no hay posibilidades de cura y el tratamiento sólo consigue que las últimas etapas de la vida del paciente sean insostenibles.

Así pues ¿está nuestra civilización condenada y este siglo verá cómo la población cae en picado hasta quedar sólo unos pocos supervivientes que vivirán en una sociedad dirigida por señores de la guerra en un planeta hostil, desértico e incapacitado? Espero que no lleguemos a ese punto. Cuando por fin una nación técnicamente desarrollada despierte, quizá como respuesta a nuestro grito de alarma, y asuma sus responsabilidades, la primera reacción será la de que «podemos arreglarlo». Puede que utilicen algo como la pantalla solar espacial o los generadores de nubes reflectantes sobre la superficie del mar propuestos por Latham. Puede que se trate sólo de un parche tecnológico que remedie los síntomas sin curar la enfermedad, pero si funciona y está disponible, no tenemos excusa para no aprovecharlo.

Las pantallas solares para enfriar la Tierra son más valiosas de lo que parece a primera vista; podrían neutralizar por completo los perniciosos efectos de las emisiones no programadas de metano. Podrían incluso suponer un remedio adaptable para con-

trarrestar el calentamiento global en el caso de que los clatratos de metano del océano escapasen súbitamente a la atmósfera. Si tenemos en mente la similitud de la fisiología de la Tierra con la de un ser humano, esos parches tecnológicos serían el equivalente al uso del oxígeno que aplican los servicios de urgencia en caso de paro cardíaco o dificultades respiratorias, o de un torniquete para contener una hemorragia; algo temporal que sirve para mantener al paciente vivo hasta que se llegue a un hospital donde pueda recibir asistencia médica en condiciones.

Por sí mismos, esos parches no harán más que darnos tiempo para cambiar nuestro estilo de vida, porque si continuamos quemando combustibles fósiles y permitimos que el nivel de dióxido de carbono en la atmósfera siga subiendo, la vida marina, fundamental para la salud de Gaia, resultará todavía más dañada. Pero podemos correr el riesgo porque necesitamos tiempo para instalar equipos para aislar el carbono y la fusión nuclear y cualesquiera otras formas de energía renovable estén listas y sean económicamente viables. A largo plazo, tenemos que comprender que, por positiva que pueda parecer una solución tecnológica, tiene el potencial de poner a la humanidad rumbo a la forma definitiva de esclavitud. Cuanto más perturbemos la composición de la Tierra y tratemos de regular su clima, más asumiremos la responsabilidad de mantener el planeta como un lugar adecuado para la vida, hasta que, al final, puede que consumamos nuestra existencia realizando en el pesado trabajo que antes Gaia había llevado a cabo gratis para nosotros durante tres mil millones de años. Ése sería el peor destino posible de la especie humana, y nos reduciría a un estado auténticamente desgraciado, donde siempre estaríamos preguntándonos si podíamos confiar en tal persona, nación u organismo internacional, para que regulase el clima y la composición atmosférica. La idea de que los humanos son lo bastante inteligentes como para ejercer de administradores de la Tierra es uno de los peores casos de *hubris* de la historia.

6. Acrónimo de *Not in my back yard* (no en mi patio trasero), con el que se califica a aquellos residentes de una zona que se oponen a que se instale una infraestructura en su zona, pero no se oponen a esa infraestructura como tal. (*N. de la t.*)

Entonces ¿qué debería estar haciendo ahora un gobierno europeo sensato? Creo que no nos queda otra opción que prepararnos para lo peor y asumir que ya hemos cruzado el punto de no retorno. Igual que hacen los servicios de urgencias, la primera prioridad de los políticos debe ser mantener al paciente, la civilización, con vida durante el viaje a un mundo en el que el cambio sea al menos más lento. Nos enfrentamos a un calor agobiante y sus consecuencias serán obvias dentro de unas pocas décadas. Deberíamos prepararnos desde ahora mismo para un aumento del nivel del mar, para olas de calor casi insoportables, como la que asoló Europa central en 2003, y para tormentas de una potencia sin precedentes. Debemos estar también preparados para sorpresas, acontecimientos locales o regionales totalmente imprevisibles. La necesidad más inmediata es disponer de fuentes de energía fiables y seguras para mantener encendidas las luces de la civilización y para preparar nuestras defensas contra la subida del nivel del mar. No hay ninguna alternativa a la energía nuclear de fisión hasta que la energía de fusión y formas razonables de energía renovable se confirmen como viables a largo plazo. La energía nuclear no produce emisiones y no dependerá de importaciones en lo que será un mundo inestable. Estaría bien que redujéramos todas las emisiones a un mínimo, y eso incluye las de metano, producto de fugas en los gasoductos y de los vertederos. Pero sobre todo necesitamos electricidad, para mantener en marcha nuestra civilización tecnológica.

En muchos sentidos estamos, sin pretenderlo, en guerra con Gaia, y para sobrevivir con nuestra civilización intacta necesitamos firmar urgentemente una paz justa con ella mientras somos lo bastante fuertes como para negociar y no una chusma derrotada camino de la extinción. ¿Son capaces las democracias actuales, con sus ruidosos medios de comunicación y sus poderosos grupos de presión, de actuar tan rápido como es necesario para organizar una defensa eficaz contra Gaia? Puede que sean necesarias restricciones, racionamiento y contribuciones individuales

como las que se dan en tiempo de guerra, aparte de sufrir una pérdida de libertades durante un tiempo. Necesitaremos un reducido y permanente grupo de estrategias que, igual que en épocas de guerra, traten de adelantarse a las acciones de nuestro enemigo planetario y reaccionen rápidamente a las sorpresas que nos aguardan. A nivel global, las agencias climáticas de la ONU se han portado magníficamente, como demuestra el IPCC. Pero conforme el clima empeore, las naciones individuales cada vez más necesitarán tratar los desastres localmente conforme se sucedan. En cierto sentido, la gran fiesta del siglo xx, con su extravagante despilfarro y sus juegos de guerra, se ha acabado. Ahora es el momento de limpiar y sacar la basura.

Dos de mis amigos más sabios, Jane y Peter Horton, me han advertido de que la metáfora de la guerra y las batallas con Gaia es masculina, y puede resultar ofensiva para las mujeres, que por fin han logrado poder e influencia suficiente como para actuar. Prefieren mi metáfora de Gaia como la madre severa pero cariñosa. Puede que tengan razón, pero les pido, como pedí a los científicos a los que tanto disgustó mi imagen de la Tierra viva, que consideren seriamente la metáfora como una vía hacia los sentimientos primitivos de la parte inconsciente de nuestras mentes. Cada sexo responde de forma distinta, y por eso quizá hagan falta ambas metáforas. Pertenece a la familia de Gaia y somos como un adolescente revoltoso, inteligente y con mucho potencial, pero demasiado avaricioso y egoísta.

Tanto hombres como mujeres deben ser conscientes de lo que estamos perdiendo. En la actualidad, el mundo urbano artificial abarca ya la totalidad de la mayoría de nuestras vidas, y creemos que, para sobrevivir, sólo hace falta aprender a desenvolverse en la ciudad. Pero incluso en la ciudad perviven unos pocos pedazos de naturaleza en forma de parques y jardines. Aprovechélos, pues igual que el campo que muchos conocen y aman, están desapareciendo y son preciosos.

Si fuera cierto que ya hemos traspasado el umbral del calen-

tamiento irreversible, quizá debiéramos escuchar a los ecologistas profundos y dejar que nos guíen. Estoy en deuda con uno de ellos, el biólogo Stephan Harding, a quien conozco bien y considero mi amigo, por darme a conocer la ecología profunda. Este pequeño grupo de ecologistas parece comprender mejor que los demás pensadores verdes la magnitud del cambio de paradigma que hace falta para que volvamos a convivir en paz con Gaia, la tierra Viva. Como hombres y mujeres sagrados que convierten sus vidas en un testimonio de su fe, los ecologistas profundos intentan vivir dando con su conducta un ejemplo de coexistencia con Gaia que los demás podemos seguir.

Pocos podemos cambiar nuestras vidas lo suficiente como para expresar nuestra lealtad a Gaia como ellos, pero sospecho que pronto pasarán cosas que nos obligarán a acelerar el paso, e, igual que la civilización al principio de la edad oscura, acabó beneficiándose del ejemplo de los que tenían fe en Dios, puede que nosotros podamos tomar ejemplo de esos valientes ecologistas que tienen fe en Gaia. Durante la primera parte de la edad oscura, los monasterios conservaron los valiosos conocimientos de las civilizaciones griega y romana, y quizá los ecologistas profundos asuman ese mismo papel respecto a nuestra civilización. A pesar de todos nuestros esfuerzos por retirarnos de forma sostenible puede que no seamos capaces de evitar una decadencia global que lleve a un mundo caótico dirigido por brutales señores de la guerra que gobiernen sobre una Tierra devastada. Si eso sucede, debemos pensar en aquellos pequeños grupos de monjes en refugios montañosos como Montserrat o en islas como Iona y Lindisfarne, que cumplieron con éxito una misión vital.

Pocos viajeros del norte irían al sur tropical sin vacunarse contra la malaria, o a Oriente Medio sin informarse antes sobre los conflictos armados de la zona. En comparación con ellos, estamos muy mal preparados para nuestro viaje al futuro. Allí donde

la gente es consciente de los peligros locales, se prepara para ellos. Por ejemplo, en Tokyo están listos para el próximo terremoto. Pero cuando las amenazas son a escala global, las ignoramos. Volcanes como el Tamboura, en Indonesia, que entró en erupción en 1814, y el Laki, en Islandia, que estalló en 1783, fueron mucho más poderosos que el Pinatubo, en Filipinas (1991) o el Krakatoa, en Indonesia (1887). Afectaron lo bastante al clima como para causar hambrunas, a pesar de que entonces la población de la Tierra era una décima parte de la actual. Si uno de esos volcanes hiciera un bis, ¿tenemos almacenada bastante comida como para alimentar a las multitudes del mañana? Si una parte de los glaciares de Groenlandia o del Polo Sur se derritieran, el nivel del mar subiría un metro. Millones de personas que actualmente viven en las ciudades costeras se quedarían sin hogar. Los urbanitas se convertirían de repente en refugiados. ¿Contamos con los alimentos y refugios necesarios para cuando ciudades como Londres, Calcuta, Miami o Rotterdam se vuelvan inhabitables?

Somos sensatos y no nos torturamos con esos posibles desastres. Preferimos pensar que no pasarán durante nuestras vidas. No nos los tomamos más en serio que nuestros antepasados se tomaban la perspectiva del infierno, pero la posibilidad de parecer estúpidos todavía nos asusta. Un viejo verso dice «Roban y conspiran y trabajan y laboran y van a iglesia los domingos. Cierto que algunos temen a Dios, pero todos temen a la señora Grundy».⁷ En la ciencia también tenemos nuestros propios doctores Grundy, y están ansiosos por burlarse de cualquier teoría que se aparte del dogma oficial. Los científicos y los asesores científicos tienen miedo de admitir que, en ocasiones, no saben qué sucederá en el futuro. Son precavidos en sus previsiones y tratan de que su tono no les parezca agorero a quienes quieren

7. La señora Grundy es un personaje de una obra de teatro de Thomas Morton que ha pasado a personificar la censura y tiranía de los prejuicios, las tradiciones y el decoro. (*N. de la t.*)

seguir como si nada. Esta tendencia nos deja inermes frente a una catástrofe global imprevista, algo parecido a la aparición del agujero en la capa de ozono pero mucho más grave; algo que podría volver a sumirnos en una nueva edad oscura.

No podemos prepararnos frente a todas las posibilidades ni cambiar de forma de ser hasta el punto de dejar de reproducirnos y de contaminar. Los precavidos querrían que dejásemos de consumir combustibles fósiles o que redujéramos drásticamente su consumo. Nos advierten de que el dióxido de carbono que genera como subproducto esta fuente de energía puede llegar, tarde o temprano, a cambiar o incluso desestabilizar el clima. La mayoría de nosotros sabemos en nuestro interior que habría que atender a esas advertencias, pero no sabemos qué hacer. Pocos estamos dispuestos a reducir el consumo de energía derivada de los combustibles fósiles que usamos para calentar o enfriar nuestras casas y para impulsar nuestros coches. Sospechamos que no deberíamos esperar para actuar a que existieran pruebas visibles de un cambio climático, pues entendemos que puede que entonces sea demasiado tarde para rectificar, pero somos como el fumador que disfruta de su cigarrillo e imagina que ya dejará de fumar cuando los daños sean tangibles. La mayoría de nosotros esperamos una buena vida en el futuro inmediato y preferimos evitar pensamientos poco placenteros sobre el porvenir.

No podemos contemplar el futuro del planeta del mismo modo que vemos nuestro futuro personal. Es descuidado no tomarnos en serio nuestra muerte, pero es una imprudencia temeraria adoptar esa misma actitud respecto al fin de la civilización. Incluso si un futuro tolerable fuera probable, seguiría siendo poco inteligente ignorar la posibilidad de que suceda un desastre.

Una cosa que podemos hacer para paliar las consecuencias de la catástrofe es escribir una guía para ayudar a nuestros supervivientes a que reconstruyan nuestra civilización sin cometer nuestros errores. Siempre he pensado que el mejor regalo para nuestros hijos y nietos es un registro preciso de todo lo que sabemos

sobre el medio ambiente actual y pasado. A Sandy y a mí nos gusta pasear por Dartmoor, una región donde predominan los pantanos. En esos parajes es fácil perderse cuando se hace de noche y cae la niebla. Para evitarlo, ponemos especial cuidado en saber siempre dónde estamos y por qué camino hemos llegado. En cierto sentido, esos paseos son similares a nuestro viaje hacia el futuro. No podemos ver qué nos aguarda en el camino ni los peligros que nos acechan, pero nos ayudaría saber cuál es el estado actual y cómo hemos llegado hasta aquí. Sería útil contar con una guía escrita con un lenguaje claro y simple que cualquier persona inteligente pueda comprender.

No existe tal libro. Para la mayoría de nosotros, todo lo que sabemos de la Tierra procede de libros y programas de televisión que representan o bien la opinión particular de un especialista o el punto de vista de un persuasivo líder de un grupo de presión. Vivimos en tiempos de enconado enfrentamiento, no de reflexión, y tendemos a oír sólo los argumentos de los grupos de presión que representan intereses específicos. Incluso cuando saben que están equivocados, nunca lo admiten. Todos luchan por los intereses de su grupo mientras se llenan la boca diciendo que hablan en nombre de la humanidad. Son entretenidos, pero ¿qué utilidad tendrían sus palabras para los supervivientes de una futura inundación o hambruna? Cuando las lean en un libro rescatado de las ruinas, ¿aprenderán qué fue mal y por qué? ¿De qué les servirán las ideas de un lobby ecologista, el comunicado de prensa de una multinacional de la energía o el informe de un comité gubernamental? Para hacerles las cosas todavía más difíciles a los supervivientes, el punto de vista objetivo de la ciencia es casi incomprensible. Los artículos y libros científicos están escritos en un lenguaje tan arcano que incluso los propios científicos sólo entienden los que tratan de su especialidad. Dudo que haya alguien, aparte de esos especialistas, que pueda entender más que unos pocos de los artículos que se publican en *Science* o *Nature* cada semana.

Observe los estantes de una librería o de una biblioteca pública y busque algún libro que le explique claramente la situación actual y cómo se ha llegado a ella. No lo encontrará. En cambio, hallará cientos de libros sobre aspectos fútiles de la actualidad. Están bien escritos y son amenos, algunos de ellos puede que hasta educativos, pero casi todos tratan sólo del presente. Dan muchas cosas por supuestas y olvidan lo difícil que fue el proceso que nos llevó a adquirir el conocimiento científico que nos permite vivir hoy cómodamente. También mostramos un desprecio tal hacia los grandes genios que levantaron los pilares de nuestra civilización que les damos el mismo espacio en nuestras librerías que a las extravagancias de la astrología, el creacionismo y la homeopatía. Al principio, todas esas disciplinas eran sólo entretenimientos o servían para distraernos de la hipocondria, pero ahora los tomamos en serio, como si contuvieran hechos y no supercherías.

Piense en los supervivientes de nuestra fracasada civilización. Imagínelos tratando de enfrentarse a una epidemia de cólera con los tratamientos obtenidos de un viejo y deteriorado libro de medicina alternativa. Y, sin embargo, es mucho más probable que sobreviva entre las ruinas uno de esos libros que un texto médico científico comprensible.

Lo que nos hace falta es un libro sobre el conocimiento tan bien escrito que constituya literatura por derecho propio. Algo para cualquier interesado en el estado de la Tierra y de la humanidad. Un manual para vivir bien y para sobrevivir. La calidad de su estilo debe ser tal que se lea por placer, como una lectura de entretenimiento, una fuente de autoridad e, incluso, como un texto de escuela primaria. Abarcaría desde cosas tan sencillas como encender un fuego a otras tan complejas como nuestro lugar en el sistema solar y el universo. Sería un manual de filosofía y ciencia y ofrecería una visión completa y detallada de la Tierra y de nosotros. Explicaría la selección natural de todas las cosas vivas y daría los datos clave de la medicina, como la circulación

de la sangre y el papel de los órganos. El descubrimiento de que las bacterias y los virus causan enfermedades infecciosas es relativamente reciente: imagine las consecuencias que tendría la pérdida de ese saber. En su época, la Biblia definió los límites de conducta y estableció unos parámetros sanitarios. Necesitamos un nuevo libro como ése que cumpla la misma función pero que incluya la ciencia. Explicaría propiedades como la temperatura, el significado de sus escalas y cómo medirla. Incluiría la tabla periódica de los elementos. Explicaría el aire, las rocas y los océanos. Ofrecería a los escolares de hoy la posibilidad de comprender adecuadamente nuestra civilización y el planeta que ocupa. Les formaría en la edad en que sus mentes son más receptivas y les daría datos que recordarían durante toda su vida. También sería un manual de supervivencia para nuestros descendientes. Un texto rápidamente disponible si sucede lo peor. Ayudaría a recuperar la ciencia como parte de nuestra cultura y de nuestra herencia. Por muchos errores que la ciencia haya cometido, sigue siendo la mejor explicación que tenemos del mundo material.

No tiene sentido pensar en que ese libro se base en medios magnéticos u ópticos ni ningún tipo de soporte que necesite un ordenador o electricidad para ser leído. Las palabras almacenadas en tales medios son tan fugaces como los *chats* de Internet y no sobrevivirán a una catástrofe. No sólo el medio en que se almacena la información tiene una vida corta, sino que su lectura depende de la posesión de un *hardware* y *software* específicos. Toda tecnología de este tipo queda rápidamente obsoleta. Los medios modernos son menos fiables para almacenar información a largo plazo que la tradición oral. Necesita el apoyo de una alta tecnología que no podemos dar por supuesta. Lo que hace falta es un libro escrito en papel duradero con una buena impresión y encuadernación. Debe ser claro, imparcial, preciso y estar actualizado. Sobre todo, tenemos que aceptarlo y creer en él igual que aceptamos y creímos, y quizá seguimos aceptando y creyendo ahora, las noticias de la BBC.

Durante la edad oscura, las órdenes religiosas conservaron en los monasterios la esencia de la civilización. Mucho de ese conocimiento estaba en libros y los monjes los cuidaron y leyeron como parte de su disciplina. Por desgracia, ya no tenemos vocaciones como éstas. La enorme cantidad de conocimiento hoy disponible es más de lo que una sola persona podría abarcar. En consecuencia, el saber está dividido y subdividido en áreas. Cada área es la provincia de sus respectivos especialistas. La mayoría son expertos en su materia y lo ignoran todo o casi todo de las demás. Pocos sienten su trabajo como una vocación.

Aparte de institutos aislados como el Centro Nacional de Investigación Atmosférica, colgado de una ladera de una montaña en Colorado, no existen en la actualidad equivalentes de aquellos monasterios. Así pues, ¿quien guardaría el libro? Un libro sobre el conocimiento escrito con autoridad y que se leyera tan bien como la Biblia no necesitaría guardianes. Se ganaría el respeto necesario para estar en todas las casas, escuelas, bibliotecas y lugares de culto. Así pues, siempre estaría a mano, pasara lo que pasase.

Mientras tanto, en el árido mundo del futuro los supervivientes se reúnen para el viaje a los nuevos centros árticos de civilización. Los veo en el desierto al romper el alba, cuando el sol despliega su primera mirada sobre el horizonte y baña su campamento. El aire fresco de la noche languidece unos segundos y luego se disuelve como humo cuando el calor ocupa su lugar. Sus camellos se despiertan, pestañean y se levantan lentamente sobre sus patas traseras. Los pocos miembros que quedan de la tribu montan en ellos. Los camellos mugen y parten en su largo viaje a través del insoportable calor hasta el siguiente oasis.

Glosario

Absorción de las rocas. En la superficie de la Tierra, continuamente aparecen montañas conforme las rocas líquidas y semifluidas bajo ella provocan que las placas que flotan encima choquen. En nuestra escala temporal, las montañas son partes fijas del paisaje, pero en términos de Gaia duran poco, y el clima las desgasta rápidamente. Las rocas se quiebran por el hielo, sufren la abrasión de la arena que lleva el viento y, sobre todo, se disuelven con la lluvia. La disolución de las montañas por el agua de lluvia es lo que los geoquímicos denominan «absorción de las rocas». Sucede porque la lluvia contiene dióxido de carbono disuelto que reacciona con las rocas para formar bicarbonato cálcico soluble en agua. Los ríos llevan esta solución hasta el océano. Hasta alrededor de 1980, los científicos especializados en la Tierra consideraban que este importante sumidero de dióxido de carbono era puramente químico. Hoy sabemos que la presencia de organismos, desde bacterias a algas en las rocas y en los árboles que crecen en el suelo, provoca que la absorción de las rocas sea entre tres y diez veces mayor de lo que sería de otro modo y acelera, por tanto, la eliminación de dióxido de carbono. Es fundamental para mantener la Tierra fría y forma parte de la autorregulación de Gaia.

Algas. Las algas son organismos fotosintéticos que utilizan la luz del sol para crear materia orgánica y oxígeno. Las plantas marinas son casi todas algas; algunas son unicelulares, otras, como el kelp, pueden ser grandes organismos multicelulares de más de sesenta metros de largo. Las algas aparecieron en la Tierra poco después de que empezara la vida, hace más de tres mil millones de años. Su forma era bacteriana y esos organismos microscópicos todavía son muy abundantes: se los encuentra o bien en organismos vivos o, más importante, dentro de las células más complejas de las plantas, llamadas cloroplastos. Las algas tienen una influencia extraordinaria en el clima de la Tierra: eliminan el dióxido de carbono del aire y son la fuente del sulfuro de dimetilo (DMS), que se oxida en el aire y se convierte en pequeños núcleos que provocan las pequeñas gotas que forman las nubes. Su prosperidad en la superficie del océano depende completamente de la temperatura, y si ésta sube más allá de entre 10 y 12 °C, las propiedades físicas del agua del océano impiden que lleguen nutrientes y no pueden prosperar. Las algas fosilizadas son el origen del petróleo.

Biosfera. El geógrafo suizo Edward Suess acuñó el término «biosfera» en 1875 para referirse a la región geográfica de la Tierra en la que se encuentra la vida. En este sentido, es un término preciso y útil y similar a la atmósfera o la hidrosfera, que definen respectivamente dónde están el aire y el agua en la Tierra. En la segunda parte del siglo xx el mineralogó V. Vernadsky expandió la definición de biosfera para que incluyera el concepto de que la vida participaba activamente en la evolución geológica, y plasmó esa idea en la expresión «la vida es una fuerza geológica». Vernadsky seguía una tradición establecida por Darwin, Huxley, Lotka, Redfield y muchos otros, pero a diferencia de ellos, sus ideas eran sobre todo anecdóticas. La biosfera se utiliza actualmente, en el sentido de Vernadsky, como una palabra vaga e imprecisa que reco-

noce el poder de la vida sin renunciar a la supremacía humana. Es una palabra que evita convenientemente cualquier compromiso con Gaia o con la ciencia del sistema Tierra.

Caos y teoría del caos. La certeza y la confianza en sí misma caracterizaron a la ciencia del siglo xix y de buena parte del xx, pero hoy, como un héroe de guerra fatalmente herido, continúa sin darse cuenta de que el determinismo que la ha impulsado durante tanto tiempo está muerto. Los buenos científicos nunca perdieron de vista que la ciencia siempre es provisional y nunca absolutamente cierta y la aplicación que el siglo xix se hizo de las estadísticas, primero en el comercio y luego en la ciencia, propició que el pensamiento basado en probabilidades resultara más inteligible que las certezas basadas en la fe. Se tuvo que descubrir la absoluta incomprendibilidad de los fenómenos cuánticos para forzar que se aceptase un mundo probabilista en lugar de determinista. Este proceso culminó más adelante con los descubrimientos derivados de la disponibilidad de ordenadores a precio asequible. Estos ordenadores permitieron a los científicos explorar el mundo de la dinámica, las matemáticas de los sistemas fluidos, en movimiento y vivos. Los descubrimientos que Edward Lorenz realizó sobre los análisis numéricos de las dinámicas de fluidos y los de Robert May sobre la biología de la población revelaron lo que se conoce como «caos determinista». Sistemas como el clima, el movimiento de más de dos cuerpos celestes vinculados gravitacionalmente o de más de dos especies que compiten entre sí son extremadamente sensibles a las condiciones iniciales de sus orígenes, y evolucionan de forma totalmente impredecible. El estudio de esos sistemas es un campo de investigación nuevo y atractivo adornado con la espectacularidad visual de las imágenes de la geometría fractal. Es importante destacar que sistemas mecánicos dinámicos eficientes, como el piloto automático de un avión, no tienen un comportamiento caótico, así como tam-

poco los organismos vivos sanos. La vida recurre a veces al caos de forma oportunista, pero éste no es una característica de su funcionamiento normal.

Ciencia del sistema Tierra. Disciplina difundida dentro de la comunidad dedicada al estudio de la Tierra, entre los que consideraban que la geología tradicional no explica satisfactoriamente el alud de nuevos datos que se tiene sobre la Tierra. En particular, a los científicos del sistema Tierra les disgusta la división entre las ciencias que estudian la Tierra y las que estudian la vida en la geosfera y la biosfera. Prefieren contemplar el planeta como una entidad dinámica única en la que las partes vivas y las inertes están en estrecha relación. Este concepto, junto con la conclusión de que la Tierra autorregula su clima y composición química, constituyó la base de la Declaración de Amsterdam de 2001. Difiere de la teoría de Gaia sólo porque todavía no ha tenido tiempo de digerir las consecuencias matemáticas de la unión entre las ciencias de la Tierra y las de la vida, la más importante de las cuales es que la autorregulación presupone un objetivo. En la teoría de Gaia, ese objetivo es mantener la Tierra habitable para sus habitantes, sean éstos los que sean.

Consiliencia. El biólogo evolutivo E. O. Wilson, al escribir sobre la incompatibilidad entre ciencia y religión del siglo xx, no olvidó la necesidad inconsciente que tenemos la mayoría de nosotros de algo trascendental, de algo más de lo que muestra el frío análisis. Recuperó una palabra que llevaba mucho tiempo en desuso pero que era cálida y confortadora —«consiliencia»— y la ofreció como puente entre el pensamiento de los científicos reduccionistas y el de los demás humanos inteligentes, especialmente aquellos que tienen fe. Creo que lo vio como el nombre de un concepto que permitiría a esas dos vías aparentemente irreconciliables evolucionar, si no conjuntamente, sí al menos en paralelo. La mejor exposición de sus ideas la hallamos en su libro *Consilience*, de 1998.

Ecosistemas naturales y servicios de ecosistema. La frase «servicios de ecosistema» fue lanzada por el biólogo Paul Ehrlich y sus colegas en 1974 para indicar que un ecosistema era más que un lugar en que los biólogos podían estudiar biodiversidad, y que los ecosistemas eran valiosos como reguladores locales del clima, el agua y los recursos químicos. Es un término útil cuando se usa en este sentido local referido a un ecosistema como la selva tropical, pero se vuelve vaga, imprecisa y muy a menudo antropocéntrica cuando se aplica globalmente. Como «biosfera», es utilizada a veces para huir de conceptos más dificultosos, como Gaia o ciencia del sistema Tierra.

Efecto invernadero. La mayor parte de la energía que irradia el sol está en el espectro visible y cercano al infrarrojo. El aire sin nubes ni polvo es transparente a esta radiación igual que el vidrio de las paredes de un invernadero. El sol calienta la superficie en la Tierra, o la región de dentro del invernadero, y parte de ese calor se transmite al aire que está en contacto con dichas superficies. El aire caliente permanece dentro de invernadero básicamente porque las paredes y el techo de cristal impiden que el viento lo disipe. La Tierra se mantiene cálida de un modo similar, aunque no idéntico: como las paredes de un invernadero, el dióxido de carbono, el vapor de agua y el metano retienen el calor que emana de la superficie y no lo dejan escapar al espacio. Estos gases, aunque transparentes a la luz, son parcialmente opacos a las longitudes de onda más largas emitidas por la superficie caliente. Este efecto invernadero ha mantenido desde hace mucho tiempo el aire de la superficie templado y, en ausencia de polución, es benigno. Sin él, la Tierra sería 32 °C más fría y probablemente inhabitable.

Energía renovable. La primera ley de la termodinámica afirma claramente que la energía siempre se conserva, de modo que no puede perderse ni renovarse. Cuando hablamos colo-

quialmente de energía nos referimos al flujo de la misma, algo que nos aporta calefacción, luz, transporte, comunicación y, por supuesto, sostiene la vida. La energía renovable es un concepto confuso, que suena bien pero que no resiste un análisis profundo. La energía que se obtiene de la quema de combustibles fósiles se considera no renovable y, sin embargo, el dióxido de carbono producido es utilizado por las plantas y una parte de él queda enterrado y se convierte en más combustible fósil. La quema de cosechas destinadas a combustible se dice que aporta energía renovable, pero si intentáramos alimentar los medios de transporte actuales con ese combustible aceleraríamos, en lugar de retrasarlo, el advenimiento de la catástrofe. Esa tierra se necesita para producir alimentos y, lo que es más importante, para sostener a Gaia. Con la energía es la cantidad, no la cualidad, lo que importa. Podemos usar cualquier fuente de energía mientras el total usado sea modesto y no perjudique el funcionamiento de Gaia.

Hipótesis Gaia. James Lovelock y Lynn Margulis postularon a principios de la década de 1970 que la vida en la Tierra mantiene siempre condiciones de vida adecuadas para el conjunto de organismos que la habitan en ese momento. Cuando surgió, la hipótesis Gaia era contraria a la tesis generalmente aceptada, que afirmaba que la vida se adaptaba a las condiciones planetarias existentes y que vida y planeta evolucionaban de forma separada. Hoy sabemos que tanto la hipótesis Gaia, tal como se formuló originalmente, como la tesis en general aceptada entonces estaban equivocadas. La hipótesis evolucionó hasta convertirse en lo que hoy es la teoría de Gaia, y la tesis convencional se convirtió en lo que hoy es la ciencia del sistema Tierra.

Respuesta o reacción positiva o negativa. Si mientras conducimos, nuestro coche se desvía del camino que queríamos tomar, alteramos la dirección de las ruedas delanteras lo sufi-

ciente para contrarrestar la desviación. Nuestro movimiento es transmitido por la dirección asistida y aplicado para oponerse al error. Eso sería una respuesta o reacción negativa. Si por un accidente, la dirección asistida funcionase mal y en vez de corregir aumentase la desviación del coche, el error sería amplificado y se convertiría en un ejemplo de reacción positiva. Ésta última, habitualmente conduce al desastre, pero también puede ser clave para hacer que un sistema responda vital y rápidamente. Cuando hablamos de círculos viciosos, nos referimos a refuerzos positivos, y ése es precisamente el estado en que la Tierra parece encontrarse ahora: las desviaciones en el clima, en lugar de ser corregidas son amplificadas, de modo que más calor conlleva todavía más calor.

Teoría de Gaia. Contempla la Tierra como un sistema autorregulado que surge de la totalidad de organismos que la componen, las rocas de la superficie, el océano y la atmósfera, estrechamente unidos como un sistema que evoluciona. La teoría afirma que este sistema tiene un objetivo: la regulación de las condiciones de la superficie para que sean lo más favorables posible para la vida que en aquel momento puebla la Tierra. Se basa en observaciones y modelos teóricos y ha realizado predicciones correctas.

Vida. La vida existe simultáneamente en los reinos separados de la física, la química y la biología, por lo que carece de una definición única. Los físicos dirán que es algo que existe dentro de unos límites y que espontáneamente reduce su entropía (desorden) mientras que excreta desorden al entorno. Los químicos dirán que está compuesta de macromoléculas que contienen como elementos básicos carbono, nitrógeno, oxígeno e hidrógeno, y una proporción menor pero necesaria de azufre, fósforo y hierro, junto con unas mínimas cantidades de selenio, yodo, cobalto y otros. Los bioquímicos y los fisiólogos dirán que la existencia de vida siempre tiene lugar dentro de unas fronteras celulares que contienen un medio acuo-

so con una composición muy precisa de especies iónicas que incluyen sodio, potasio, calcio, magnesio y cloro; cada una de las células dispone de una serie completa de especificaciones e instrucciones escritas en código en largas moléculas lineales de ácido desoxirribonucleico (ADN). Los biólogos la definirían como un estado dinámico de la materia que puede replicarse a sí misma y cuyos componentes individuales evolucionarán mediante selección natural. La vida puede observarse, diseccionarse y analizarse, pero es un fenómeno emergente y puede que nunca seamos capaces de darle una explicación racional.

Lecturas recomendadas

Capítulo 1. El estado de la Tierra

- Stephen H. Schneider y Randi Londer, *The Coevolution of Climate and Life*, Sierra Club Books, San Francisco, 1984.
- Stephen H. Schneider, *Global Warming*, Sierra Club Books, San Francisco, 1989.
- John Gribbin, *El efecto invernadero y Gaia*, Ediciones Pirámide, Madrid, 1991.
- John Gray, *Perros de paja: reflexiones sobre los humanos y otros animales*, Ediciones Paidós, Barcelona, 2003.
- , *Heretics*, Granta, Londres, 2004.
- Ann Primavesi, *Gaia's Gift*, Routledge, Londres, 2003.
- Fred Pearce, *Turning Up the Heat*, The Bodley Head, Londres, 1989.
- Mary Midgley, *The Essential Mary Midgley*, Routledge, Londres, 2005.
- , *Science and Poetry*, Routledge, Londres, 2002.
- Edward O. Wilson, *Consilience: la unidad del conocimiento*, Galaxia Gutenberg, Barcelona, 1999.
- Michael Crichton, *Estado de miedo*, Plaza & Janés, Barcelona, 2005.
- , *Rescate en el tiempo*, Plaza & Janés, Barcelona, 2000.

Capítulos 2 y 3. ¿Qué es Gaia?**La historia de la vida de Gaia**

- John Gribbin, *Deep Simplicity*, Penguin, Londres, 2004.
- Lynn Margulis, *Planeta simbiótico: un nuevo punto de vista para la evolución*, Editorial Debate, Madrid, 2002.
- Lynn Margulis y Dorion Sagan, *Microcosmos*, Tusquets Editores, Barcelona, 1995.
- Lee R. Kump, James F. Kasting y Robert G. Crane, *The Earth System*, Prentice Hall, Nueva Jersey, 2004.
- Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*, W. H. Freeman, Oxford y San Francisco, 1982.
- J. Scott Turner, *The Extended Organism*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.
- Edward O. Wilson, *La diversidad de la vida*, Editorial Crítica, Barcelona, 1994.
- H.-J. Schellnhuber, *Earth System Analysis*, Springer, Berlín, 1998.
- N. Morosovsky, *Rheostasis*, Oxford University Press, 1990.
- Steven H. Strogatz, *Nonlinear Dynamics and Chaos*, Perseus Books, Cambridge, Massachusetts, 2000.
- Tim Lenton, «Gaia and Natural Selection», *Nature*, 30 de julio de 1998.
- Tim Lenton y W. von Bloh, «Biotic feedback extends Lifespan of Biosphere», *Geophysical Research Letters*, 28(a), 2001.

Capítulo 4. Parte meteorológico para el siglo XXI

- Sir John Houghton, *Global Warming*, Cambridge University Press, 2004.
- Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, *Third As-*

essment Report, Climate Change 2001, Cambridge University Press, 2001.

- Millennium Ecosystem Assessment Report, Island Pres, 2005.
- Hubert Lamb, *Climate: Present, Past and Future*, Methuen, Londres, 1972.
- Sir Crispin Tickell, *Climate Change and World Affairs*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1986.
- Kendall McGuffie y Ann Henderson-Sellers, *A Climate Modelling Primer*, Wiley, Chichester, 2005.

Capítulo 5. Fuentes de energía

- Rayner Joel, *Basic Engineering Thermodynamics*, Longman, Harlow, 1996.
- W. J. Nuttall, *Nuclear Renaissance*, Institute of Physics Publishing, Londres, 2005.
- Godfrey Boyle, *Renewable Energy*, Oxford University Press, 1966.
- Fred Pearce, *Acid Rain*, Penguin, Londres, 1987.
- Michael Laughton, *Power to the People*, ASI (Research) Ltd, Londres, 2003.
- Neville Shute, *On the Beach*, Heinemann, Londres, 1961.
- Helen Caldicott, *Nuclear Madness*, W. W. Norton, Nueva York, 1994.
- Bruno Comby, *Environmentalists for Nuclear Energy*, TNR, París, 2000.

Capítulo 6. Productos químicos, alimentos y materias primas

- Bruce Ames, «Dietary Carcinogens and Anticarcinogens», *Science*, Vol. 221, 1256-1264, 1983.

H. A. Bridgman, *Global Air Pollution: Problems for the 1990s*, Belhaven Press, Londres, 1990.

Capítulo 7. Tecnología para una retirada sostenible

Robert A. Weinberg, *One Renegade Cell*, Basic Books, Nueva York, 1988.

Capítulo 8. Una visión personal del ecologismo

Jonathon Porritt, *Seeing Green*, Blackwell, Oxford, 1984.

—, *Actuar con prudencia: ciencia y medioambiente*, Naturart, Barcelona, 2003.

Rachel Carson, *Primavera silenciosa*, Caralt Editores, Barcelona, 1964.

Richard Mabey, *Country Matters*, Pimlico, Londres, 2000.

—, *Nature Cure*, Chatto & Windus, Londres, 2005.

Edward Goldsmith, *The Way*, Shambhala, Boston, 1993.

Richard Rogers, *Ciudades para un pequeño planeta*, Gustavo Gili, Barcelona, 2003.

Dick Taverne, *The March of Unreason*, Oxford University Press, 2005.

Capítulo 9. Después del fin de trayecto

Martin Rees, *Nuestra hora final. ¿Será el siglo XXI el último de la humanidad?*, Crítica, Barcelona, 2004.

Libros sobre Gaia

James Lovelock, *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la Tierra*, Hermann Blume, Madrid, 1983.

—, *Las edades de Gaia*, Tusquets Editores, Barcelona, 1993.

—, *The Practical Science of Planetary Medicine*, 1991; reimpresso como *Gaia: Medicine for an Ailing Planet*, Gaia Books, Londres, 2005.

—, *Homenaje a Gaia*, Editorial Laetoli, Pamplona, 2005.

Índice onomástico y de materias

- ADN: 183.
aerosol de sulfatos
 beneficios del: 176-177.
aerosoles: 92.
África: 88.
Ages of Gaia: 70.
agujero negro: 86.
albedo: 62.
algas: 85, 175-176, 230.
Ames, Bruce: 177-178.
amonio: 42.
análisis de la atmósfera planetaria en
 busca de signos de vida: 46.
Andreae, M. O.: 48, 92.
Antártida
 deshielo de la: 88.
apoptosis: 183-184.
aumento del nivel del mar: 102.
Australia: 88.
 aborígenes australianos: 209.
autorregulación: 64-65.
Awerbuch, Shimon: 190.
- Ballard, Geoffrey: 120.
BBC
 Horizon: 92.
- Berner, Robert: 44.
Betts, Richard: 56, 62, 85.
biocombustibles: 106, 131.
biodiversidad: 73.
biogeoquímica: 46.
biosfera definición de la: 37, 230-231.
Blake, William: 27.
Bloh, Werner von: 77.
Bonaparte, Napoleón: 215.
bosques boreales
 Canadá: 62.
 Siberia: 62.
 bosques: 99.
Bowerchalke (Wiltshire): 164.
Boyle, Godfrey: 123.
British Antarctic Survey: 57, 94*n*.
Broecker, Wally: 90.
Bruntland, Gro Harlem: 121.
Budyko, M. I.: 62, 191.
- Calder Hall, Cumbria: 143.
Caldicott, Helen: 145.
Caldiera, Ken: 77, 188, 190.
calentamiento global: 20-21, 25, 29,
 31, 76.
calentamiento solar: 76.

- cambio climático: 33.
 mejora: 187.
 predicciones: 81-83, 93.
 umbral o punto de no retorno: 86.
 Cambridge, Universidad de: 187.
 camellos y estados estables: 39.
 Campaña por el Desarme Nuclear (CDN): 142-143.
 campo inglés: 165.
 cáncer: 31, 166-167, 182.
 cancerígenos: 185.
 en la comida: 178.
 Carson, Rachel: 161-162.
 células de combustible: 114, 120.
 células de Hadley: 91, 125.
 central mareomotriz del estuario del Severn: 34, 129.
 Centro de Tecnologías Alternativas (CAT): 123.
 Centro Nacional de Investigación Atmosférica: 21.
 Charlson, Robert: 48.
 Chernobyl: 78, 138, 149-153.
 mortandad en: 152.
 China: 33, 149.
 ciencia de sistemas: 40.
 ciencia del sistema Tierra (EES): 51, 232.
 ciudades: 26-27.
 civilización: 27, 29.
 clatratos: 63, 95.
 clima en la última edad de hielo: 87.
 clorofila: 99.
 clorofluorocarbonos (CFC): 96.
 combustibles fósiles: 112-114.
 consumo de: 32-33.
 combustibles nucleares: 105.
 combustión, ganado y sierras letales: 192.
 comida sintética: 31, 193-194.
 comunidades rurales, cambio en las: 164-165.
 condensación de nubes: 75.
 consiliencia: 232.
 Corriente del Golfo: 90, 91.
 corriente transportadora oceánica: 90.
 Cox, Peter: 57, 85, 92.
 Crane, Robert: 59.
 crecimiento de la población: 204.
 Crichton, Michael: 19, 81, 82.
 Cromwell, Oliver: 27.
 Culham Science Centre, Oxfordshire: 135-136.
 Dartington Hall, conferencia sobre el cambio global de Devon, 2004: 129.
 Darwin, Charles: 49.
 Dawkins, Richard: 48.
 DDT: 162-163.
 Declaración de Amsterdam: 22, 51.
 Denton, sir Eric: 174.
 desarrollo sostenible: 19-20, 121.
 Descartes, René: 26.
 destrucción de hábitat naturales: 32.
 detector de captura de electrones (ECD): 163.
 detritóforos: 69.
 deuterio: 136.
 Dickens, Charles: 81.
 Dickinson, Robert E.: 191.
 dimetil sulfonio propionato (DMSP): 57.
 dióxido de carbono: 42, 69, 70, 75, 81, 94-96, 117, 139.
 desechos: 114, 139-140.
 emisiones anuales: 189.
 producción anual: 115.
 dirigibles: 195.
 disonancia cognitiva: 186.
 ecofascistas: 203.
 ecología profunda: 206, 222.
 ecologismo: 166.
 ecosistemas de algas marinas: 99.
 ecosistemas naturales: 32.
 edad de hielo: 72.
 incremento de la productividad: 75-76.
 edad de oro: 71, 76.
 efecto invernadero: 233.
 Ehrlich, Paul y Anne: 122.
 Einstein, Albert: 26.
 Elderfield, Harry: 95, 187.
 eliminación del carbono: 114.
 emergencia: 64.
 energía de fisión nuclear: 30-31, 134, 137-141.
 energía de fusión nuclear: 134-137.
 energía eólica: 123-129.
 coste de la: 128.
 en Alemania y Dinamarca: 123, 128.
 energía geotérmica: 107.
 energía hidroeléctrica: 130-131.
 energía mareomotriz de mareas y olas: 129-130.
 energía mareomotriz: 129.
 energía nuclear: 30-31, 107, 119, 220.
 miedo a la: 142.
 energía solar: 132-133.
 energías renovables: 30-31, 106, 121-122, 217, 233-234.
 a escala industrial: 166.
 enfriamiento global: 91.
 entrelazamiento cuántico: 64.
 Eoceno: 25, 95.
 erosión: 63, 96, 229.
 errores medioambientales: 161.
 Estados Unidos: 33.
 estilo de vida urbano: 159-160.
 eucariotas: 71.
 Europa del norte: 90.
 extinciones: 180.
 extremófilos: 54.
 Fells, Ian: 129.
 Feynman, Richard: 66.
 Foley, Jonathan: 180.
 Foster, Norman: 194.
 Francia: 31.
 La Rance: 129.
 fuentes de energía: 155.
 Gaia
 amenaza a: 25.
 composición física: 37.
 daños a: 24.
 definición de: 37.
 efectos dañinos de los **humanos en**: 180.
 envejece: 78.
 estado preferido: 100.
 estados estables: 39.
 hacer las paces con: 220-221.
 la Tierra viva: 17-18, 40.
 límites: 38, 53-54.
 metáforas y: 220-221.
 muerte de: 77.
 nombre de: 47, 212.
 oposición a: 47-48.
 prefiere el frío: 49.
 principios de: 99.
 pruebas de: 44.
 regulación química: 58-59.
 regulación: 64-67, 76-78.
 respuesta al cambio adverso: 74.
 sistema fisiológico: 38.
 sistema Tierra: 41, 98.
 un sistema que evoluciona: 23
 una base para un ecologismo práctico: 197.

- gas natural: 116.
 escapes: 116-119.
 gas sulfuro: 174.
 genocidio: 28.
 geofisiología: 61, 72.
 glaciación: 58.
 glaciares: 88.
 Glaser, Gisbert: 19.
 Glynn, Jerry: 209.
 Golding, William: 47.
 Goldsmith, Edward: 206.
 Goldsmith, Zac: 207.
 Gore, Al: 22.
 gráfico «palo de hockey»: 86-88.
 Gram, Niels
 Federación danesa de industrias:
 128.
 Gray, John: 25.
 Gray, Theodore: 209.
 Gregory, Jonathon: 61, 84.
 Gribbin, John: 22.
 Groenlandia
 deshielo de: 61, 78, 88.
 Guerra Fría: 142.
 guía para supervivientes: 224-228.
- Hadden, Peter y Christine: 217.
 Hadley Centre: 84.
 Hadley, George: 125.
 Hamilton, William: 50.
 Harding, Stephan: 50, 222.
 Harwell: 151.
 Hawker, reverendo Robert Stephen:
 110.
 Henderson-Sellers, Ann: 84*n*.
 herbicidas y pesticidas químicos: 161-
 164.
 hidrógeno: 119-121.
 hipótesis Gaia: 45-47, 234.
 Hiroshima (Japón): 141.
 Hodkinson, H. M.: 205.
- Hodson, Daniel: 97.
 homeotermes: 54.
 horizonte de sucesos: 86.
 Horton, Peter y Jane: 221.
 Humboldt, Alexander von: 27.
 Hutchinson, G. E.: 46.
- Ibsen, Henrik: 172.
 impactos planetarios: 70.
 India: 33.
 industria nuclear: 140.
 Informe de 2004 de la Royal Society
 of Engineers: 128.
 Instituto Max Planck de Química:
 118.
 Instituto Nacional de Investigación
 Médica: 150.
 Instituto Paul Scherrer: 153.
 interglaciales: 58, 72, 88.
 Islandia: 108.
 islas Británicas: 90, 97.
- juramento hipocrático: 192.
- Kasting, James: 59, 77.
 King, sir David: 23, 28.
 Kump, Lee: 59.
- Lackner, Klaus: 190.
 Lamb, Hubert: 21.
 Latham, John: 188.
 Laughton, Michael: 112.
 Leck, Caroline: 176.
 Lenton, Tim: 44, 50, 58, 75, 77.
 Lijinsky, W.: 169.
 límites en la tierra y en el océano: 46.
 Lindzen, Richard: 27.
 Liss, Peter: 58, 189.
- Liverpool: 33.
 Llewellyn Smith, sir Chistopher: 135.
 lluvia ácida: 93, 172-177.
 fuentes: 174-175.
 Lomborg, Bjorn: 27.
 Londer, Randi: 21.
 Londres: 33.
 Lorenz, Edward: 231.
 Lotka, Alfred: 52.
 Lovins, Amory: 122.
- Mabey, Richard: 166.
 Madre Teresa: 19.
 malaria: 162.
 Mann, Michael: 86.
 mar del Norte: 175-176.
 Margulis, Lynn: 47, 198, 234.
 Marte: 47.
 Mason, sir John: 174.
 Maxwell, James Clark: 66.
 May, Robert: 23, 180, 231.
 Maynard Smith, John: 50.
 McGuffie, Kendall: 84*n*.
 Meehl, G. A.: 98.
 mejora: 187.
 metano: 63, 70, 81, 91, 94, 95, 118.
 metanógenos: 69.
 Michaels, Patrick: 28.
 Midgley, Mary: 26.
 Millay, Edna St. Vincent: 79.
 Millennium Ecosystem Assessment
 2003: 180.
 mitocondrias: 182-183.
 muestras de hielo antártico: 81.
 muestras de hielo: 94.
 Muller, Paul Herman: 162.
 mundo de las margaritas, El: 48-49,
 59.
 Myers, Norman: 180.
- Naess, Arne: 206.
 Nagasaki, Japón: 141.
 NASA: 46.
 Newton, Isaac: 26.
 nichos: 64, 75.
 niebla de aerosol: 92.
 nitratos: 167-171.
 nitrógeno: 41-42.
 nitrosaminas: 169.
 Nuttall, W. J.: 138, 142-143.
- océano Ártico: 89.
 Odum, Eugene: 51.
 Oficina Meteorológica del Reino Uni-
 do: 125.
 ola de calor europea de 2003: 97.
 Organización Mundial de la Meteoro-
 logía (WMO): 22.
 Organización Mundial de la Salud
 (OMS): 151.
 oscurecimiento global: 92, 176.
 óxido nitroso: 96.
 oxígeno: 31, 71, 182.
 regulación del: 44.
- Panel Intergubernamental sobre el
 Cambio Climático (IPCC): 22,
 82, 180-181.
 informe de 2001: 82.
 pantallas solares: 188, 218.
 paso del Noroeste: 90
 Patterson, Walt: 138.
 Pearce, Fred: 22, 172, 192.
 pensamiento reduccionista: 26.
 período carbonífero: 44.
 período cretácico: 45.
 período precámbrico: 45.
 plantas eólicas: 107, 127.
 pleistoceno: 72, 77.
 Política Agraria Comunitaria (PAC):
 122-123.

- Polo Norte
 cambios en el: 89.
 hielo flotante del: 89.
 Porritt, Jonathon: 129, 203.
 Premio Norbert Gerbier: 48.
 Primavera, Anne: 19.
 Programa Internacional Geosfera
 Biosfera (IGBP): 19.
 Programa Medioambiental de Naciones Unidas (UNEP): 22.
 proterozoico: 71.
 Protocolo de Kyoto: 29, 128.
- Ramanathan, V.: 92.
 Rapley, Christopher: 94*n*.
 registro geológico: 93-94.
 religiones: 199.
 residuos nucleares: 136-139.
 respuesta del albedo del hielo: 62.
 respuesta negativa: 63, 234-235.
 en erosión: 63.
 respuesta positiva: 25, 61, 98, 234-235.
 en el sistema climático: 62-63.
 Ress, sir Martin: 213.
 retirada sostenible: 25, 215.
 riesgo, percepción del: 180.
 Rocky Mountains Institute: 122.
 Rodhe, Henning: 176.
 Rogers, Richard: 194.
 Roosevelt, Franklin: 149.
 Rothschild, Victor: 163.
 Rousseau, Jean-Jacques: 27.
 Ruskin, John: 27.
- Sagan, Dorian: 198.
 Sajarov, Andrei: 147.
 San Luis, Estados Unidos: 88.
 Savannah River, Par Pond: 138.
 Schneider, Stephen: 21-22, 82, 122.
- segunda ley de la termodinámica: 105.
 selección natural: 38.
 selva amazónica: 57.
 servicios de ecosistema: 233.
 Shakespeare, William: 27.
 Shell: 163.
 Shepherd, John: 187.
 Shoard, Miriam: 166.
 Shute, Neville: 145.
 Siberia: 90.
síndrome de China, El: 146.
 sistema Tierra
 mecanismos de enfriamiento: 74-75.
 Sócrates: 27.
 sol: 76.
 solución tecnológica: 218.
 Sudeste asiático: 88.
 Suecia: 130.
 Suess, Edward: 230.
 sulfuro de dimetilo (DMS): 48, 175-176.
 sulfuro en combustibles: 176.
 sulfuro en la estratosfera: 191.
 supervisión global: 93.
 Sutton, Rowan: 97.
 Svensen, Henrik: 95*n*.
- Taverne, Richard: 204.
 teléfonos móviles: 195.
 Teller, Edward: 147.
 teoría de Gaia: 235.
 teoría del caos: 231-232.
 termófilos: 78.
 terrorismo: 28.
 Thatcher, Margaret: 22, 125.
 Thomas, Andrew: 45.
 Thoreau, Henry David: 27.
 Three Mile Island: 146.
 Tickell, sir Crispin: 22, 214.
- Tierra
 temperatura de la: 100-102.
 tribalismo: 28.
 tritio: 136.
 Trollope, Anthony: 81.
 Truman, Harry: 141.
 Tsukuba, Japón: 84.
 turbinas de viento: 217.
 Turley, Carol: 189.
 Turner, Sue: 175.
- umbrales o puntos de no retorno: 78, 86.
 Unión Europea: 93.
 Universidad de East Anglia: 175.
 Universidad de Reading: 97.
 urea, ácido úrico: 41-43.
- Vernadsky, V.: 230.
 vida: 235-236.
 Volterra, Vito: 52.
- Warren, Steven: 48.
 Watson, Andrew: 44, 58.
 Watt, James: 65.
 Weinberg, Robert: 185*n*.
 Whitfield, Michael: 77.
 Wigley, Tom: 98.
 Williams, George: 41.
 Williams, Rowan, arzobispo de Canterbury: 200-201.
 Wilson, Edward O.: 21, 180, 232.
 Windscale incendio de: 150, 151.
 Wood, Lowell: 188.
 Wordsworth, William: 27.
 Wu, Kangsheng: 91.
- Yangtze, presa del:
 yodometano: 48.