

Fritjof Capra



Las conexiones ocultas

*Implicaciones sociales, medioambientales,
económicas y biológicas de una
nueva visión del mundo*



ANAGRAMA
Colección Argumentos

Las conexiones ocultas

Fritjof Capra

Las conexiones ocultas

Implicaciones sociales, medioambientales,
económicas y biológicas de una
nueva visión del mundo

Traducción de David Sempau



EDITORIAL ANAGRAMA
BARCELONA

Título de la edición original:
The Hidden Connections
Doubleday
Nueva York, 2002

Diseño de la colección:

Julio Vivas

Ilustración: «Ossippee I», Frank Stella, 1966,
colección Mr. y Mrs. Ernest Kafka, Nueva York

Para Elizabeth y Juliette

© Fritjof Capra, 2002

© EDITORIAL ANAGRAMA, S. A., 2003
Pedró de la Creu, 58
08034 Barcelona

ISBN: 84-339-6188-8
Depósito Legal: B. 16565-2003

Printed in Spain

Liberduplex, S. L., Constitució, 19, 08014 Barcelona

La educación es la capacidad de percibir
las conexiones ocultas entre los fenómenos.

VÁCLAV HAVEL

AGRADECIMIENTOS

A lo largo de los últimos veinticinco años he practicado un estilo de investigación que se basa, fundamentalmente, en diálogos y debates con individuos y grupos reducidos de amigos y compañeros. La mayor parte de mis intuiciones e ideas se han originado y han madurado en esta clase de encuentros intelectuales. Las ideas contenidas en la presente obra no son una excepción a esa regla.

Me siento particularmente agradecido a:

- Pier Luigi Luisi por numerosos y estimulantes debates acerca de la naturaleza de la vida, así como por su cálida hospitalidad en la Escuela de Verano de Cortona, en agosto de 1998, y en el Instituto Federal de Tecnología de Zurich, en enero de 2001;
- Brian Goodwin y Richard Strohman por profundas discusiones sobre biología celular y teoría de la complejidad;
- Lynn Margulis por esclarecedoras conversaciones sobre microbiología, así como por darme a conocer la obra de Harold Morowitz;
- Francisco Varela, Gerald Edelman y Rafael Núñez por apasionantes controversias en torno a la naturaleza de la consciencia;
- George Lakoff por introducirme en la lingüística cognitiva e infinidad de ilustrativos diálogos;

- Roger Fouts por su instructiva correspondencia acerca de los orígenes evolutivos del lenguaje y la consciencia;
- Mark Swilling por estimulantes discusiones sobre las semejanzas y disparidades entre ciencias naturales y ciencias sociales, así como por darme a conocer la obra de Manuel Castells;
- Manuel Castells por su estímulo y su apoyo, así como por una serie de debates sistemáticos sobre conceptos fundamentales de teoría social, de tecnología y de cultura, y sobre las complejidades de la globalización;
- William Medd y Otto Scharmer por esclarecedoras conversaciones acerca de las ciencias sociales;
- Margaret Wheatley y Myron Kellner-Rogers por inspiradores diálogos, a lo largo de varios años, sobre la complejidad y la autoorganización en los sistemas vivos y las organizaciones humanas;
- Oscar Motomura y sus compañeros de AMANA-KEY por animarme continuamente a aplicar ideas abstractas a la educación profesional, así como por su cálida hospitalidad en São Paulo, Brasil;
- Angelika Siegmund, Morten Flatau, Patricia Shaw, Peter Senge, Etienne Wenger, Manuel Manga, Ralph Stacey y el grupo SOLAR del Nene Northampton College, por numerosas y apasionantes conversaciones sobre teoría y práctica de gestión empresarial;
- Mae-Wan Ho, Brian Goodwin, Richard Strohman y David Suzuki por esclarecedoras discusiones sobre genética e ingeniería genética;
- Steve Duenes por su ayuda en lo relativo a la bibliografía sobre redes metabólicas;
- Miguel Altieri y Janet Brown por ayudarme a comprender la teoría y la práctica de la agroecología y la agricultura biológica;
- Vandana Shiva por muchas e inspiradoras conversaciones sobre ciencia, filosofía, ecología, el sentimiento comunitario y la perspectiva del Sur sobre la globalización;

- Hazel Henderson, Jerry Mander, Douglas Tompkins y Debi Barker por apasionantes diálogos sobre tecnología, sostenibilidad y economía global;
- David Orr, Paul Hawken y Amory Lovins por numerosas y estimulantes conversaciones informativas acerca del ecodiseño;
- Gunter Pauli por dilatados y esclarecedores diálogos, a lo largo y a lo ancho de tres continentes, acerca de la agrupación ecológica de industrias;
- Janine Benyus por una larga e inspiradora conversación sobre los «milagros tecnológicos» de la naturaleza;
- Richard Register por numerosas discusiones acerca de cómo aplicar los principios del ecodiseño a la planificación urbana;
- Wolfgang Sachs y Ernst-Ulrich von Weizsäcker por conversaciones informativas acerca de la política verde;
- Vera van Aaken por facilitarme una perspectiva feminista sobre los excesos del consumismo.

Durante los últimos años, y mientras trabajaba en este libro, tuve la fortuna de asistir a diversos simposios internacionales, en los que autoridades de diversos campos debatieron muchas de las cuestiones que estudiaba. Quiero expresar mi agradecimiento a Václav Havel, presidente de la República Checa, y a Oldrich Cerny, director ejecutivo de la Fundación Fórum 2000, por su generosa hospitalidad en el simposio anual Fórum 2000 de Praga en los años 1997, 1999 y 2000.

Mi agradecimiento asimismo a Ivan Havel, director del Centro de Estudios Teóricos de Praga, por haberme dado la oportunidad de participar en el simposio sobre ciencia y teleología de la Universidad Carolina de Praga, en marzo de 1998.

Mi agradecimiento igualmente al Centro Internacional de Investigaciones Piero Manzù por haberme invitado a participar en el simposio sobre la naturaleza de la consciencia de Rímìni, Italia, en octubre de 1999.

Estoy en deuda con Helmut Milz y Michael Lerner por haberme proporcionado la oportunidad de debatir investigaciones recientes con destacados expertos en el campo psicosomático, durante el simposio de dos días de duración en el Commonwealth Center de Bolinas, California, en enero de 2000.

Gracias al International Forum for Globalization por invitarme a participar en dos de sus intensivos y altamente informativos seminarios sobre la globalización, en San Francisco (abril de 1997) y Nueva York (febrero de 2001).

Mientras trabajaba en este libro tuve la valiosa oportunidad de presentar algunos esbozos de ideas ante audiencias internacionales, en dos cursos en el Schumacher College de Gran Bretaña, durante los veranos de 1998 y 2000. Quiero expresar mi profundo agradecimiento a Satish Kumar y a la comunidad de ese centro por extender su hospitalidad a mi familia, como tan a menudo han hecho en el pasado, así como a los alumnos que tuve allí por sus innumerables preguntas críticas y sugerencias enriquecedoras.

En el transcurso de mi trabajo en el Center for Ecoliteracy de Berkeley he tenido numerosas oportunidades de debatir, con un grupo de notables educadores, nuevas ideas acerca de la educación para una vida sostenible, lo cual me ha ayudado en gran manera a mejorar mi marco conceptual al respecto. Mi agradecimiento a Peter Buckley, Gay Hoagland y, particularmente, Zenobia Barlow por haberme brindado esas oportunidades.

Quiero dar las gracias a John Brockman, mi agente literario, por su estímulo y por ayudarme a formular el esbozo inicial del libro.

Mi profundo agradecimiento a mi hermano, Bernt Capra, por su lectura del original completo, su apoyo entusiasta y sus valiosos consejos en numerosas ocasiones. Estoy igualmente agradecido a Ernest Callenbach y Manuel Castells por su lectura del original y sus abundantes comentarios críticos.

Estoy en deuda con mi asistente, Trena Cleland, por su soberbia revisión del original, así como por haber conseguido

mantener el funcionamiento fluido de mi oficina mientras yo estaba plenamente concentrado en la escritura.

Gracias a Roger Scholl, mi editor en Doubleday, por su entusiasmo imperturbable y su constante estímulo, así como a Sara Rainone por su cuidadoso seguimiento de todas las etapas de la producción del libro.

Finalmente, en último lugar, aunque no por ello menos importante, deseo expresar mi profunda gratitud a Elizabeth, mi esposa, y a Juliette, mi hija, por su paciencia y su comprensión durante muchos meses de trabajo agotador.

PREFACIO

En la presente obra me propongo extender al ámbito social la nueva comprensión de la vida que ha surgido de la teoría de la complejidad. Para ello, presentaré un marco conceptual que integre las dimensiones biológica, cognitiva y social de la vida. Mi objetivo consiste no sólo en ofrecer una visión unificada de la vida, la mente y la sociedad, sino en desarrollar también un planteamiento coherente y sistémico de algunas de las cuestiones críticas de nuestra época.

El libro se divide en dos partes. En la primera presentaré el nuevo marco teórico en tres capítulos, que tratarán, respectivamente, de la naturaleza de la vida, de la naturaleza de la mente y la consciencia, y de la naturaleza de la realidad social. Quienes estén más interesados en las aplicaciones prácticas de este marco teórico, pueden pasar directamente a la segunda parte (capítulos 4 al 7). Se trata de capítulos que pueden leerse de forma independiente, pero que contienen referencias cruzadas a las secciones teóricas relevantes, destinadas a quienes deseen una mayor profundización.

En el capítulo 4 aplico la teoría social, desarrollada en el capítulo precedente, a la gestión de organizaciones humanas, y me centro, en particular, en la cuestión de hasta qué punto puede una organización humana ser considerada un sistema vivo.

En el capítulo 5 centro mi atención en el mundo, en general, para tratar de una de las cuestiones más urgentes y contro-

vertidas de nuestros tiempos: los retos y los peligros de la globalización económica según las reglas de la Organización Mundial del Comercio (OMC) y demás instituciones del capitalismo global.

El capítulo 6 está dedicado al análisis sistémico de los problemas científicos y éticos de la biotecnología (ingeniería genética, clonación, alimentos genéticamente modificados, etcétera), con particular hincapié en la reciente revolución conceptual en genética desencadenada por los descubrimientos del Proyecto Genoma Humano.

En el capítulo 7 analizo el estado del mundo en los albores del siglo XXI. Tras revisar algunos de los problemas medioambientales y sociales más notorios, así como sus relaciones con nuestros sistemas económicos, paso a describir la cada vez más amplia, a escala mundial, «Coalición de Seattle» de organizaciones no gubernamentales (ONG), junto con sus planes para remodelar la globalización de acuerdo con unos valores distintos. La parte final del capítulo está dedicada al análisis del reciente y espectacular aumento de las prácticas de diseño ecológico, así como al estudio de sus implicaciones en la transición hacia un futuro sostenible.

Todo ello significa una continuación y evolución de mis trabajos precedentes. Desde principios de los setenta, mis investigaciones y mis escritos han girado en torno a un único tema central: el cambio fundamental de la visión del mundo que tiene lugar tanto en la ciencia como en la sociedad, es decir, el alumbramiento de una nueva visión de la realidad y las implicaciones sociales de esa transformación cultural.

En mi primer libro, *The Tao of Physics* (1975),* analicé las implicaciones filosóficas de los espectaculares cambios de conceptos e ideas acaecidos en la física —mi campo original de investigación—** a lo largo de las tres primeras décadas del si-

* Ver bibliografía. (N. del T.)

** Fritjof Capra es doctor en física teórica por la Universidad de Viena. (N. del T.)

glo XX, que aún se están desarrollando en nuestras teorías actuales sobre la materia.

Mi segundo libro, *The Turning Point* (1982),* demostraba cómo la revolución en la física moderna auspiciaba una revolución similar en muchas otras ciencias, junto con la correspondiente transformación de las visiones del mundo y de los valores de la sociedad. En esa obra analicé, en particular, los cambios de paradigma en biología, psicología y economía, y al hacerlo me percaté de que todas esas disciplinas tratan de un modo u otro con la vida —con sistemas biológicos y sociales vivos—, por lo que la «nueva física» resultaba inadecuada como paradigma y fuente de metáforas en esos campos. El paradigma físico tenía que ser reemplazado por un marco conceptual más amplio, por una visión de la realidad en la que la vida fuese el mismísimo centro.

Todo ello constituyó para mí un profundo cambio de percepción, que ocurrió de forma gradual y como resultado de múltiples influencias. En 1998 publiqué el relato de este periplo intelectual con el título de *Uncommon Wisdom: Conversations with Remarkable People*.**

A principios de los ochenta, cuando escribí *The Turning Point*, la nueva visión de la realidad, que con el tiempo debería reemplazar en diversas disciplinas la visión del mundo cartesiana y mecanicista, no estaba bien articulada, ni mucho menos. Denominé entonces «visión sistémica de la vida» a esa formulación científica, lo que la relacionaba con la tradición intelectual del pensamiento sistémico, y argumenté asimismo que la escuela filosófica de la ecología profunda, que no distingue entre humanos y naturaleza y reconoce el valor intrínseco de todo ser vivo, podía proporcionar el contexto filosófico, e incluso espiritual, ideal para el nuevo paradigma científico. Hoy, veinte años más tarde, sigo manteniendo esa opinión.

En los años que siguieron exploré las implicaciones de la ecología profunda y de la visión sistémica de la vida con la ayu-

* Ver bibliografía. (N. del T.)

** Ver bibliografía. (N. del T.)

da de amigos y compañeros en diversos campos, y publiqué varios trabajos con los resultados de esas investigaciones. *Green Politics* (con Charlene Spretnak, 1984) analiza el ascenso del Partido Verde en Alemania; *Belonging to the Universe* (con David Steindl-Rast y Thomas Matus, 1991)* explora los paralelismos entre el nuevo pensamiento científico y la teología cristiana; *EcoManagement* (con Ernest Callenbach, Lenore Goldman, Rüdiger Lutz y y Sandra Marburg, 1993) propone un marco conceptual y práctico para una gestión empresarial ecológicamente concienciada; *Steering Business Toward Sustainability* (coeditado con Gunter Pauli, 1995) es una colección de ensayos escritos por ejecutivos, economistas, ecologistas y otros autores, que esbozan planteamientos prácticos para hacer frente al reto de la sostenibilidad ecológica. En todas esas exploraciones mi interés se centraba —y se sigue centrando— en los procesos y los patrones de organización de los sistemas vivos: en las «conexiones ocultas entre fenómenos».¹

La visión sistémica de la vida, tal como la esboqué en *The Turning Point*, no constituía una teoría coherente de los sistemas vivos, sino más bien una nueva forma de pensar sobre la vida que incluía nuevas percepciones, un nuevo lenguaje y nuevos conceptos. Se trataba de un desarrollo conceptual en la vanguardia de la ciencia, auspiciado por investigadores pioneros en numerosos campos, que crearon un clima intelectual que posibilitaba avances significativos en los años por venir.

Desde entonces, científicos y matemáticos han dado pasos gigantescos hacia la formulación de una teoría de los sistemas vivos por medio del desarrollo de una nueva teoría matemática —un cuerpo completo de conceptos y técnicas matemáticas— para describir y analizar la complejidad de los sistemas vivos, que la literatura popular ha denominado a menudo «teoría de la complejidad» o «ciencia de la complejidad». Los científicos y los matemáticos prefieren denominarla, de forma más prosaica, «dinámica no lineal».

* Ver bibliografía. (N. del T.)

Hasta hace poco, en ciencia se nos enseñaba a evitar las ecuaciones no lineales, dado que eran prácticamente imposibles de resolver. Sin embargo, en los años setenta los científicos disponían por primera vez de computadoras poderosas y rápidas, con las que ya les resultaba posible enfrentarse a esa clase de ecuaciones. Así consiguieron desarrollar una serie de nuevos conceptos y técnicas que convergían gradualmente hacia un marco matemático coherente.

Durante los años setenta y ochenta el interés por los fenómenos no lineales generó toda una serie de convincentes teorías, que han incrementado espectacularmente nuestra comprensión de numerosas características clave de la vida. En *The Web of Life* (1996),* mi obra más reciente, resumí las matemáticas de la complejidad y presenté una síntesis de las teorías no lineales contemporáneas sobre los sistemas vivos, la cual puede ser considerada el esbozo de una nueva comprensión científica de la vida.

La ecología profunda siguió asimismo en los ochenta un proceso de desarrollo y profundización, y abundan los artículos y los libros que tratan de las disciplinas relacionadas, tales como ecofeminismo, ecopsicología, ecoética, ecología social y ecología transpersonal. Consecuentemente, en el primer capítulo de *The Web of Life* presenté una revisión actualizada de la ecología profunda y sus relaciones con todas esas escuelas filosóficas.

La nueva comprensión científica de la vida, basada en los conceptos de la dinámica no lineal, representa un verdadero punto de inflexión conceptual. Disponemos, por primera vez, de un lenguaje eficaz para describir y analizar los sistemas complejos. Conceptos como los de atractor, retrato fase, diagrama de bifurcación y fractal no existían antes del desarrollo de la dinámica no lineal. Tales conceptos nos permiten hoy formular nuevas preguntas, y nos han conducido ya a importantes ideas en múltiples campos.

* Ver bibliografía. (N. del T.)

Mi ampliación del enfoque sistémico al ámbito social incluye de manera explícita el mundo material, lo cual no es usual, puesto que, tradicionalmente, los científicos sociales no se han mostrado demasiado interesados por el mundo de la materia. Nuestras disciplinas académicas han sido organizadas de tal modo que las ciencias naturales tratan de las estructuras materiales, mientras que las ciencias sociales tratan de las estructuras sociales, que se conciben fundamentalmente como reglas de comportamiento. En el futuro esta estricta división no va a ser posible, puesto que el reto crucial de este nuevo siglo, tanto para los científicos naturales y los sociales como para todos los demás, consistirá en construir comunidades ecológicamente sostenibles, diseñadas de tal modo que sus tecnologías y sus instituciones sociales —es decir, sus estructuras materiales y sociales— no interfieran la capacidad inherente a la naturaleza para mantener la vida.

Los principios de diseño de nuestras futuras instituciones sociales deberán ser consistentes con los principios de organización que la naturaleza ha desarrollado para sustentar la trama de la vida. Para esta tarea de comprensión de las estructuras materiales y sociales será esencial un marco conceptual unificado. El propósito de este libro consiste en proporcionar un primer esbozo de ese marco.

FRIJOF CAPRA
Berkeley, agosto de 2002

Primera parte

La vida, la mente y la sociedad

1. LA NATURALEZA DE LA VIDA

Antes de presentar el nuevo marco unificado para la comprensión de los fenómenos biológicos y sociales, me gustaría volver a una pregunta, vieja como los tiempos: «¿Qué es la vida?», pero contemplándola con ojos nuevos.¹ Debo advertir, al poner manos a la obra, que no consideraré esta pregunta en la totalidad de su profundidad humana, sino que la enfocaré desde una perspectiva estrictamente científica, y, aun así, mi atención se centrará, al principio, en la vida en cuanto fenómeno biológico. Dentro de este marco restringido, la pregunta puede ser reformulada como sigue: «¿Cuáles son las características definitorias de los sistemas vivos?»

Tal vez los científicos sociales prefieran proceder a la inversa, identificando primero las características definitorias de la realidad social para extenderlas luego al ámbito biológico e integrar esa realidad con conceptos correspondientes de las ciencias naturales. Tal enfoque es, sin duda, muy plausible, pero como me formé en las ciencias naturales y realicé previamente una síntesis de la nueva concepción de la vida en estas disciplinas, es natural que comience por ahí.

También podría argumentar que, después de todo, la realidad social evolucionó a partir del mundo biológico, hace entre dos y cuatro millones de años, cuando una especie de «simio del Sur» (*Australopithecus afarensis*) se irguió y comenzó a andar sobre dos patas. En aquellos tiempos los primeros homínidos

desarrollaron cerebros complejos que les permitieron manufacturar las primeras herramientas y concebir el lenguaje, mientras que la indefensión de sus hijos los condujo a formar familias y comunidades para protegerse, las cuales serían la base de la vida social humana.² Por consiguiente, no carece de sentido basar la comprensión de los fenómenos sociales en un concepto unificado de la evolución de la vida y la consciencia.

LAS IMPORTANTÍSIMAS CÉLULAS

Al observar la ingente variedad de organismos vivos —animales, plantas, seres humanos, microorganismos— hacemos inmediatamente un descubrimiento importante: toda vida biológica consiste en células. Sin ellas no hay vida sobre el planeta. Tal vez no haya sido siempre así —volveré a este asunto más adelante—,³ pero podemos asegurar con certeza que, hoy día, en cualquier manifestación de vida intervienen células.

Este descubrimiento nos permite adoptar una estrategia típica del método científico. Para identificar las características definitorias de la vida, primero buscamos el sistema más simple que posea esas características y luego lo estudiamos. Esta estrategia reduccionista ha demostrado ser muy eficaz en la ciencia, a condición de no caer en la trampa de creer que las entidades complejas sólo son la suma de sus componentes más simples.

Puesto que sabemos que un organismo ha de ser unicelular o multicelular, sabemos también que el sistema vivo más simple es la célula.⁴ Más exactamente, una célula bacteriana. Hoy sabemos que todas las formas superiores de vida han evolucionado a partir de células bacterianas. Las más simples de entre ellas pertenecen a una familia de diminutas bacterias esféricas conocidas como micoplasmas, con diámetros inferiores a una milésima de milímetro y genomas consistentes en un solo bucle cerrado de la doble hélice del ácido desoxirribonucleico (ADN).⁵ Pero incluso dentro de estas células mínimas funciona de manera constante una compleja red de procesos metabólicos que transporta nu-

trientes hacia el interior de la célula y expulsa residuos hacia su exterior, en una incesante utilización de moléculas de alimento para formar proteínas y otros componentes celulares.

Aunque las micoplasmas son células mínimas en términos de su simplicidad interna, sólo pueden sobrevivir en un entorno químico muy preciso y bastante complejo. Como señala el biólogo Harold Morowitz, eso significa que debemos distinguir dos clases de simplicidad celular.⁶ La simplicidad interna significa que la bioquímica del entorno interno del organismo es simple, mientras que la simplicidad ecológica expresa que el organismo necesita pocas aportaciones químicas procedentes de su entorno externo.

Desde el punto de vista ecológico, los organismos más simples son las cianobacterias, antecesoras de las algas verdeazuladas, las cuales se cuentan también entre las bacterias más antiguas, ya que hay trazas suyas presentes en los primeros fósiles. Algunas de esas bacterias verdeazuladas son capaces de formar sus compuestos orgánicos únicamente a partir de dióxido de carbono, agua, nitrógeno y minerales en estado puro. Es interesante observar que su gran simplicidad ecológica parece requerir cierto grado de complejidad bioquímica interna.

LA PERSPECTIVA ECOLÓGICA

La relación entre simplicidad interna y simplicidad ecológica no se comprende aún del todo, en parte porque la mayoría de los biólogos no están todavía acostumbrados a utilizar una perspectiva ecológica. Como señala Morowitz:

La continuidad de la vida constituye una propiedad de un sistema ecológico, más que de un organismo o una especie por sí solos. La biología tradicional ha tendido a centrar su atención en los organismos individuales más que en el continuo biológico. El origen de la vida se considera, por consiguiente, un acontecimiento único, en el que un organismo surge del

medio que lo rodea. Una perspectiva ecológicamente más equilibrada examinaría los ciclos protoecológicos, así como los subsiguientes sistemas químicos que, sin duda, se desarrollaron y florecieron mientras iban apareciendo objetos parecidos a organismos.⁷

Ningún organismo individual puede existir aisladamente. Los animales dependen de la fotosíntesis de las plantas para cubrir sus necesidades energéticas; las plantas dependen del dióxido de carbono producido por los animales, así como del nitrógeno fijado en sus raíces por las bacterias; finalmente, plantas, animales y microorganismos regulan la biosfera y mantienen unas condiciones aptas para la vida. Según la teoría Gaia de James Lovelock y Lynn Margulis,⁸ la evolución de los primeros organismos vivos fue pareja a la transformación de la superficie del planeta de un medio inorgánico a una biosfera que se autorregula. «En este sentido», escribe Morowitz, «la vida es más una propiedad de los planetas que de los organismos individuales.»⁹

LA VIDA DEFINIDA EN TÉRMINOS DEL ADN

Volvamos a la cuestión de «¿Qué es la vida?» y preguntémosnos: ¿Cómo funciona una célula bacteriana? ¿Cuáles son sus características definitorias? Al observar una célula a través del microscopio electrónico, nos percatamos de que sus procesos metabólicos involucran a macromoléculas especiales, moléculas de gran tamaño consistentes en largas cadenas de centenares de átomos. En todas las células están presentes dos clases de esas macromoléculas: las proteínas y los ácidos nucleicos (el ADN y el ácido ribonucleico, o ARN).

En la célula bacteriana están presentes, básicamente, dos tipos de proteínas: las enzimas, que actúan como catalizadores de diversos procesos metabólicos, y las proteínas estructurales, que forman parte de la estructura celular. En organismos superiores

se hallan también presentes muchos otros tipos de proteínas con funciones especializadas, como los anticuerpos del sistema inmunológico o las hormonas.

Puesto que la mayor parte de los procesos metabólicos son catalizados por enzimas y éstas son producidas por genes, los procesos celulares se hallan controlados genéticamente, lo cual les confiere gran estabilidad. Las moléculas de ARN actúan como mensajeras transportando información codificada para la síntesis de las enzimas procedente del ADN, con lo que establecen el vínculo crítico entre las características genéticas y metabólicas de la célula.

El ADN es asimismo responsable de la autorreplicación de la célula, característica crucial de la vida, sin la cual cualquier estructura formada accidentalmente hubiera decaído y desaparecido, lo que habría hecho imposible la evolución de la vida. Esta importancia omnipresente del ADN parece sugerir la conveniencia de identificarlo como la *única* característica definitoria de la vida. Podríamos afirmar, simplemente, que «Los sistemas vivos son sistemas químicos que contienen ADN».

Sin embargo, esta definición adolece de un punto débil: las células muertas *también* contienen ADN. De hecho, las moléculas de ADN pueden persistir durante cientos, e incluso miles, de años después de la muerte del organismo. Hace unos años ocurrió un caso ejemplar a este respecto: científicos alemanes identificaron la secuencia precisa del ADN del hombre de Neanderthal a partir de un cráneo; es decir, gracias a unos huesos que llevaban muertos más de cien mil años.¹⁰ Por consiguiente, la presencia de ADN no basta por sí sola para definir la vida. En última instancia, nuestra definición debería ser corregida como sigue: «Los sistemas vivos son sistemas químicos que contienen ADN y no están muertos», lo cual equivaldría a decir, esencialmente, que «un sistema vivo es un sistema que está vivo», lo cual no pasa de ser una mera tautología.

Este pequeño ejercicio nos demuestra que las estructuras moleculares de la célula no bastan para definir la vida. Necesitamos definir también los procesos metabólicos de la célula, es

decir, los patrones de relación entre las macromoléculas. De acuerdo con este enfoque, centramos nuestra atención en la célula, considerada como un todo, más que en sus partes. Según el bioquímico Pier Luigi Luisi, cuyo campo específico de investigación se centra en la evolución molecular y en el origen de la vida, esos dos enfoques –el punto de vista «centrado en el ADN» y el «centrado en la célula»– representan dos corrientes principales, tanto filosóficas como experimentales, en las ciencias de la vida de nuestros días.¹¹

LAS MEMBRANAS: LA BASE DE LA IDENTIDAD CELULAR

Consideremos ahora la célula como un todo. En primer lugar, se caracteriza por un perímetro (la membrana celular) que diferencia el sistema –el «ser», por así decirlo– de su entorno. Dentro de este perímetro se desarrolla una red de reacciones químicas (el metabolismo de la célula) mediante las que el sistema se sustenta a sí mismo.

Numerosas células tienen otros límites además de la membrana, como cápsulas o paredes celulares rígidas. Se trata de características comunes a muchas clases de células, pero únicamente la membrana constituye una característica universal de la vida celular. Desde sus comienzos la vida sobre la Tierra ha estado asociada al agua. Las bacterias se mueven en agua, y dentro de la membrana el metabolismo tiene lugar en un entorno acuoso. En este ambiente fluido la célula no podría persistir como entidad diferenciada sin la ayuda de una barrera física que la protegiera de la libre difusión. La existencia de membranas constituye, pues, una condición esencial para la vida celular. Las membranas no son únicamente una característica universal de la vida, sino que poseen, además, el mismo tipo de estructura a lo largo y a lo ancho del mundo vivo. Como veremos más adelante, los caracteres moleculares de estas membranas universales proporcionan importantes indicios sobre el origen de la vida.¹²

Las membranas son muy distintas de las paredes celulares. Mientras que éstas son estructuras rígidas, aquéllas permanecen siempre activas y se abren y se cierran constantemente para permitir la entrada de determinadas sustancias en la célula e impedir que otras penetren en ella. Las reacciones metabólicas celulares involucran una serie de iones,* y la membrana, por su condición de semipermeable, controla su proporción y los mantiene en equilibrio. Otra actividad fundamental de la membrana consiste en bombear incesantemente el exceso de residuos cálcicos, de modo que el calcio presente en el interior de la célula se mantenga en el nivel preciso, muy bajo, requerido para sus funciones metabólicas. Todas estas actividades contribuyen al mantenimiento de la célula como entidad diferenciada, y, además, la protegen de las influencias dañinas del entorno. De hecho, lo primero que hace una bacteria al ser atacada por otro organismo es fabricar membranas.¹³

Todas las células nucleadas, e incluso la mayoría de las bacterias, disponen también de membranas internas. En los libros de texto la célula animal o vegetal es presentada a menudo como un gran disco, rodeado por la membrana celular y conteniendo varios discos de menor tamaño (los orgánulos), cada uno de ellos rodeado por su propia membrana.¹⁴ Esta descripción no es exacta, dado que la célula no contiene diversas membranas, sino más bien un solo sistema de membranas interconectadas. Éste, denominado «sistema endomembranoso», permanece en constante movimiento, durante el cual va envolviendo a los orgánulos hasta llegar al borde de la célula y destruirse. Es una especie de «cinta transportadora» que se forma, se destruye y vuelve a formarse sin cesar.¹⁵

Mediante sus diversas actividades la membrana celular regula la composición molecular de la célula y preserva así su identidad. Surge aquí un interesante paralelismo con el pensamiento más reciente en inmunología. Algunos inmunólogos

* Los iones son átomos dotados de carga eléctrica neta, como resultado de haber ganado o perdido uno o más electrones.

creen que el papel principal del sistema inmunológico consiste en controlar y regular el repertorio molecular del organismo, con lo que preserva su «identidad molecular». ¹⁶ A nivel celular la membrana tiene un papel similar, puesto que regula la composición molecular y mantiene así la identidad de la célula.

LA AUTOGÉNESIS

La membrana celular constituye la primera característica definitoria de la vida celular. La segunda consiste en la naturaleza del metabolismo que tiene lugar dentro del perímetro celular. En palabras de la microbióloga Lynn Margulis: «El metabolismo, esa química incesante del automantenimiento, es una característica esencial de la vida [...] A través de un incesante metabolismo, a través del flujo químico y energético, la vida se produce, se regenera y se perpetúa a sí misma continuamente. Tan sólo las células y los organismos compuestos por ellas son capaces de metabolizar.» ¹⁷

Al observar más de cerca los procesos metabólicos, nos damos cuenta de que forman una red química. He aquí otra característica fundamental de la vida. Del mismo modo que los ecosistemas son comprendidos en términos de redes de alimentación (redes de organismos), los organismos lo son como redes de células, órganos y sistemas de órganos, y las células como redes de moléculas. Una de las intuiciones cruciales del planteamiento sistémico ha sido comprender que la red es un patrón común a todo lo vivo. Allí donde hay vida, hay redes.

La red metabólica de una célula implica dinámicas muy particulares, que difieren sorprendentemente del entorno sin vida de la célula. Al tomar sus nutrientes del mundo exterior, la célula se sustenta a sí misma por medio de una red de reacciones químicas que tienen lugar en su interior y que producen la totalidad de sus componentes, incluyendo los del perímetro que la limita. ¹⁸

La función de cada componente de esa red consiste en transformar o sustituir a los demás, de modo que la red entera se genera a sí misma de manera continua. Ésta es la clave de la definición sistémica de la vida: las redes vivas se crean y se recrean a sí mismas sin cesar, mediante la transformación o la sustitución de sus componentes. De este modo experimentan constantes cambios estructurales al mismo tiempo que mantienen sus patrones de organización en forma de red.

La dinámica de la autogénesis fue identificada como una característica clave de la vida por los biólogos Humberto Maturana y Francisco Varela, que le dieron el nombre de «autopoiesis» (literalmente, «que se hace a sí misma»). ¹⁹ El concepto de autopoiesis combina las dos características definitorias de la vida celular antes mencionadas: el perímetro físico y la red metabólica. A diferencia de las superficies de los cristales o de las grandes moléculas, el perímetro de un sistema autopoiesico es químicamente distinto del resto del sistema, y participa en los procesos metabólicos autoensamblándose y filtrando selectivamente las moléculas que entran y salen. ²⁰

La definición de un sistema vivo como una red autopoiesica implica que el fenómeno de la vida tiene que ser considerado una propiedad del sistema como un todo. En palabras de Pier Luigi Luisi: «La vida no puede ser adscrita a ningún componente molecular exclusivo (ni siquiera al ADN o al ARN!), sino únicamente a la totalidad de la red metabólica circunscrita.» ²¹

La autopoiesis proporciona un criterio claro y convincente para distinguir los sistemas vivos de los no vivos. Por ejemplo, nos indica que los virus no son organismos vivos, puesto que carecen de metabolismo propio. Fuera de una célula viva, un virus no es más que una estructura molecular inerte, formada por proteínas y ácidos nucleicos. Un virus es, esencialmente, un mensaje químico que necesita el metabolismo de una célula viva anfitriona para producir nuevas partículas víricas, según las instrucciones codificadas en su ADN o su ARN. Esas nuevas partículas no se construyen en el interior del virus, sino fuera de él, en la célula anfitriona. ²²

De forma parecida, el robot que monta otros robots partiendo de piezas sueltas construidas por otras máquinas no puede ser considerado un ser vivo. En estos últimos años, se ha sugerido a menudo que los ordenadores y otros autómatas podrían llegar a constituir futuras formas de vida. Sin embargo, a menos que sean capaces de sintetizar sus componentes a partir de «moléculas alimento» de su entorno, nunca podrán ser considerados seres vivos según nuestra definición de vida.²³

LA RED CELULAR

Tan pronto como comenzamos a describir en detalle la red metabólica de una célula, nos damos cuenta de su sorprendente complejidad, incluso en el caso de la bacteria más simple. La mayoría de los procesos metabólicos son facilitados (catalizados) por enzimas y reciben la energía a través de unas moléculas especiales de fosfato conocidas como ATP.* Las enzimas solas ya forman una intrincada red de reacciones catalíticas, y las moléculas de ATP forman una red energética que se corresponde con ella.²⁴ Por medio del ARN mensajero ambas redes quedan vinculadas al genoma (las moléculas de ADN de la célula), que es, a su vez, una red compleja e interconectada, rica en bucles de retroalimentación, en la que cada gen regula, directa e indirectamente, las actividades de los demás genes.

Algunos biólogos distinguen dos tipos de procesos de producción y, por consiguiente, dos redes celulares diferentes. En un sentido más técnico del término, la primera recibe el nombre de «red metabólica», en la cual el «alimento» que penetra a través de la membrana celular es convertido en lo que se conoce como «metabolitos», los componentes básicos a partir de los cuales se forman las macromoléculas (es decir, las enzimas, las proteínas estructurales, el ARN y el ADN).

* Sigla de la expresión inglesa *adenosine triphosphate* (trifosfato de adenosina). (N. del T.)

La segunda red implica la producción de las macromoléculas a partir de los metabolitos. Esa red incluye el nivel genético, pero se extiende a niveles que van más allá de los genes, por lo que se conoce con el nombre de «red epigenética». A pesar de sus distintas denominaciones, ambas redes están íntimamente interconectadas y juntas constituyen la red celular autopoiética.

Una de las ideas fundamentales de la nueva manera de comprender la vida es la de que las formas y las funciones biológicas no están determinadas, simplemente, por un programa genético, sino que son propiedades emergentes de la totalidad de la red epigenética. Para comprender esta emergencia necesitamos entender no sólo las estructuras genéticas y la bioquímica de la célula, sino también la compleja dinámica que se desarrolla cuando la red epigenética se enfrenta a las limitaciones físicas y químicas de su entorno.

Según la dinámica no lineal y las nuevas matemáticas de la complejidad, este encuentro tendrá como resultado un número limitado de funciones y formas posibles, descritas matemáticamente por medio de atractores, complejos patrones geométricos que representan las propiedades dinámicas del sistema.²⁵ El biólogo Brian Goodwin y el matemático Ian Stewart han dado algunos primeros pasos importantes en la utilización de la dinámica no lineal para explicar la emergencia de la forma biológica.²⁶ Según Stewart, ésta está llamada a ser una de las áreas más fructíferas de la ciencia en los años venideros:

Predigo —y no soy, ni mucho menos, el único en hacerlo— que una de las áreas de crecimiento más apasionantes de la ciencia del siglo XXI será la de las biomatemáticas. El próximo siglo [XXI] será testigo de una explosión de nuevos conceptos matemáticos, de nuevas *clases* de matemáticas, alumbradas por la necesidad de comprender los patrones del mundo vivo.²⁷

Esta visión difiere notablemente del determinismo genético que se encuentra aún ampliamente extendido entre los biólogos

moleculares, las empresas de biotecnología y la prensa científica popular.²⁸ La mayoría de la gente tiende todavía a pensar que la forma biológica está determinada por un detallado programa genético, y que toda la información acerca de los procesos celulares es transmitida a la siguiente generación por medio del ADN cuando se divide la célula y su ADN es replicado. Sin embargo, eso no es, ni mucho menos, lo que sucede realmente.

Cuando una célula se reproduce, no transmite únicamente sus genes, sino también sus membranas, sus enzimas y sus orgánulos, es decir, toda su red celular. La nueva célula no es producida a partir del ADN puro, sino de una continuación ininterrumpida de toda la red autopoiesis. El ADN puro nunca es transmitido, porque los genes sólo pueden funcionar cuando están inmersos en la red epigenética. Así es como la vida se ha ido desarrollando a lo largo de tres mil millones de años en un proceso ininterrumpido, sin romper en ningún momento el patrón básico de sus redes autogenéticas.

LA EMERGENCIA DE UN NUEVO ORDEN

La teoría de la autopoiesis identifica el patrón de redes autogenéticas como una de las características definitorias de la vida, pero no proporciona una descripción detallada de la física y la química involucradas en ellas. Como hemos visto, tal descripción resulta crucial para la comprensión de la emergencia de las formas y las funciones biológicas.

El punto de partida para ello consiste en la observación de que la existencia de toda estructura celular se encuentra muy alejada del equilibrio termodinámico, por lo que no tardaría en degenerar y dirigirse hacia el estado de equilibrio –en otras palabras, moriría– de no ser porque el metabolismo celular utiliza un flujo constante de energía para restaurar las estructuras a medida que éstas decaen, lo cual significa que debemos describir la célula como un sistema abierto. Los sistemas vivos son sistemas cerrados desde el punto de vista organizativo –se trata

de redes autopoiesis–, pero abiertos desde los puntos de vista material y energético. Para mantenerse vivos necesitan alimentarse de flujos continuos de materia y energía procedentes de su entorno. A la inversa, las células –como cualquier organismo vivo– producen continuamente residuos, y es esa corriente de materia –alimentos y residuos– la que establece su lugar en la cadena trófica. En palabras de Lynn Margulis: «La célula tiene una relación automática con alguien más. Libera algo que alguien comerá.»²⁹

Los estudios detallados del flujo de materia y energía a través de sistemas complejos han desembocado en la teoría de las estructuras disipativas, desarrollada por Ilya Prigogine y sus colaboradores.³⁰ Una estructura disipativa, tal como Prigogine la describe, es un sistema abierto que permanece en un estado alejado del equilibrio, pero que, al mismo tiempo, conserva la estabilidad: se mantiene la misma estructura general, a pesar del flujo incesante y del cambio continuo de sus componentes. Prigogine eligió el término «estructuras disipativas» para subrayar esta íntima interacción entre estructura, por un lado, y cambio (o disipación), por otro.

La dinámica de estas estructuras disipativas incluye específicamente la emergencia espontánea de nuevas formas de orden. Si el flujo de energía aumenta, el sistema puede llegar a un punto de inestabilidad, conocido como «punto de bifurcación», del que puede surgir una nueva rama que es capaz de desembocar en un estado completamente nuevo, en el que es posible que emerjan nuevas formas de orden y nuevas estructuras.

Esta emergencia espontánea de orden en puntos críticos de inestabilidad constituye uno de los conceptos más importantes para la nueva comprensión de la vida. Esta característica, que se conoce técnicamente con el nombre de autoorganización aunque a menudo se la designe, simplemente, como «emergencia», ha sido reconocida como el origen dinámico del desarrollo, del aprendizaje y de la evolución. En otras palabras, la creatividad –la capacidad para generar nuevas formas– constituye una propiedad clave de todo sistema vivo. Y puesto que la emergencia

constituye una parte integrante de la dinámica de los sistemas abiertos, podemos llegar a la importante conclusión de que éstos se desarrollan y evolucionan: la vida avanza constantemente hacia la novedad.

La teoría de las estructuras disipativas, formulada en términos de dinámica no lineal, no tan sólo explica la emergencia espontánea de nuevas formas de orden, sino que también nos ayuda a definir la complejidad.³¹ Mientras que, tradicionalmente, el estudio de la complejidad ha sido el de las estructuras complejas, la atención se desplaza ahora de éstas a sus procesos de emergencia. Por ejemplo, en lugar de definir la complejidad de un organismo en términos del número de los tipos de células que lo componen —como suelen hacer los biólogos—, podemos definirla en función del número de bifurcaciones que atraviesa el embrión en el desarrollo del organismo. De acuerdo con esto, Brian Goodwin habla de «complejidad morfológica».³²

LA EVOLUCIÓN PREBIÓTICA

Vamos a detenernos un instante para revisar las características definitorias de los sistemas vivos, que hemos identificado en nuestro análisis de la vida celular. Hemos visto que la célula es una red metabólica circundada por una membrana, autogénica y organizativamente cerrada; que es material y energéticamente abierta; que utiliza un flujo constante de materia y energía para producirse, regenerarse y perpetuarse a sí misma, y que funciona lejos del equilibrio, allí donde pueden emerger espontáneamente nuevas estructuras y nuevas formas de orden, lo cual conduce al desarrollo y a la evolución. Estas características son propuestas por dos teorías distintas, que representan, a su vez, dos perspectivas diferentes de la vida: la teoría de la autopoiesis y la teoría de las estructuras disipativas.

Al tratar de integrar ambas teorías, nos damos cuenta de que existe cierta incompatibilidad. Mientras que todos los sistemas autopoiesis son estructuras disipativas, no todas las es-

tructuras disipativas son sistemas autopoiesis. Ilya Prigogine desarrolló su teoría a partir del estudio de complejos sistemas térmicos y ciclos químicos alejados del equilibrio, estudio motivado por su vivo interés por la naturaleza de la vida.³³

Así pues, las estructuras disipativas no tienen por qué ser necesariamente sistemas vivos, pero, dado que la emergencia constituye una parte integrante de su dinámica, toda estructura disipativa tiene la potencialidad de evolucionar. En otras palabras, existe una evolución «prebiótica», una evolución de la materia inanimada que debe haberse iniciado con cierta anterioridad a la emergencia de células vivas. Se trata de un punto de vista ampliamente aceptado hoy día entre los científicos.

La primera versión amplia de la idea de que la materia viva se originó a partir de la materia inanimada, por medio de un proceso evolutivo continuo, fue introducida en la ciencia por el bioquímico ruso Alexander Oparin en su obra, ya clásica, *El origen de la vida*, publicada en 1929.³⁴ En ella denominaba «evolución molecular» a lo que hoy conocemos como «evolución prebiótica». En palabras de Pier Luigi Luisi: «Partiendo de pequeñas moléculas, habrían evolucionado compuestos de complejidad molecular creciente, dotados de nuevas propiedades emergentes, hasta dar origen a la más extraordinaria de todas las propiedades emergentes: la propia vida.»³⁵

Aunque la idea de la evolución prebiótica esté hoy día ampliamente aceptada, no existe un consenso científico acerca de los detalles del proceso. Han sido propuestos diversos escenarios posibles, pero ninguno de ellos ha quedado demostrado. Uno de esos escenarios se inicia con ciclos e «hiperciclos» (ciclos de múltiples bucles de retroalimentación) catalíticos formados por enzimas, capaces de autorreplicarse y de evolucionar.³⁶ Otro escenario se basa en el reciente descubrimiento de que determinadas clases de ARN pueden actuar también como enzimas, es decir, como catalizadores de procesos metabólicos. Esta capacidad catalítica del ARN, actualmente bien establecida, permite imaginar un estadio evolutivo en el que dos funciones cruciales para la célula viva —la transferencia de información y las activi-

dades catalíticas— se combinaron en un único tipo de molécula. Los científicos denominan «mundo del ARN» a esa hipotética etapa.³⁷

En el escenario evolutivo del mundo del ARN,³⁸ sus moléculas desarrollarían primero las actividades catalíticas necesarias para reunir copias de sí mismas, y pasarían acto seguido a sintetizar proteínas, incluyendo enzimas. Estas enzimas recién producidas serían catalizadores mucho más eficaces que sus homólogos de ARN, por lo que acabarían por dominar el proceso. Finalmente, aparecería en escena el ADN como transmisor definitivo de la información genética, con la capacidad añadida de corregir errores de transcripción, gracias a su estructura en doble cadena. Llegados a este punto, el ARN habría quedado relegado a su papel actual de intermediario, desplazado por el ADN debido a su almacenamiento de información más eficaz, y por las enzimas proteínicas debido a su mayor eficacia para la catálisis.

LA VIDA MÍNIMA

Todos estos escenarios siguen siendo aún sumamente especulativos, tanto el que se basa en hiperciclos catalíticos de proteínas (enzimas) que se rodean a sí mismas con membranas y luego, de algún modo, crean una estructura de ADN como el que se basa en un mundo de ARN, que evoluciona en el actual de ADN más ARN más proteínas, y el que se basa en una síntesis de ambos, que también ha sido propuesto recientemente.³⁹ Sea cual fuere el escenario de evolución prebiótica, surge la interesante pregunta de si podemos o no hablar de sistemas vivos en alguna etapa previa a la aparición de las células. En otras palabras, de si existe o no un modo de definir las características mínimas de los sistemas vivos que pudieran haber existido en el pasado, con independencia de su evolución posterior. He aquí la respuesta que propone Luisi:

Está claro que el proceso que conduce a la vida es un algo continuo, lo cual dificulta enormemente una definición inequívoca de ésta. De hecho, hay, obviamente, numerosos lugares en el camino propuesto por Oparin en los que se podría colocar arbitrariamente el indicador de «vida mínima»: en el nivel de la autorreplicación, en la etapa en que la autorreplicación iba [...] acompañada de evolución química, en el punto del tiempo en que las proteínas y los ácidos nucleicos comenzaron a interactuar, en el momento en que se formó el código genético, o en el que se formó la primera célula.⁴⁰

Luisi llega a la conclusión de que las diferentes definiciones de la vida mínima, aunque todas igualmente justificables, pueden ser más o menos significativas según el propósito para el que se usen.

Si esta idea básica de una evolución prebiótica es correcta, debería ser posible, en principio, demostrarla en el laboratorio. El reto, para los científicos que trabajan en este campo, consiste en construir vida a partir de moléculas o, por lo menos, en reconstruir diferentes etapas evolutivas en diversos escenarios prebióticos. Puesto que no se dispone de registros fósiles de sistemas prebióticos en evolución desde el período de formación de las rocas sobre la Tierra hasta la emergencia de la primera célula, los químicos carecen de indicios que les puedan ayudar a concebir estructuras intermedias, por lo que su tarea podría parecer insuperable.

Sin embargo, se han realizado recientemente progresos significativos, y no hay que olvidar que estamos hablando de un campo aún muy joven. La investigación sistemática sobre el origen de la vida no tiene más de cuarenta o cincuenta años de existencia, pero si bien nuestras ideas concretas acerca de la evolución prebiótica son aún muy especulativas, la mayoría de los biólogos y los bioquímicos no dudan que la vida se originó sobre la Tierra como resultado de una secuencia de acontecimientos químicos, sujetos a las leyes de la física y la química, así como de la dinámica no lineal de los sistemas complejos.

Esta posición es elocuentemente defendida con impresionante minuciosidad por Harold Morowitz en un pequeño y extraordinario libro titulado *Beginnings of Cellular Life*,⁴¹ que voy a seguir de cerca en la parte restante del presente capítulo. Morowitz aborda la cuestión de la evolución prebiótica y del origen de la vida desde dos ángulos. En primer lugar, identifica los principios básicos de la bioquímica y de la biología molecular comunes a todas las células vivas. Remonta estos principios en el tiempo, a través de la evolución, hasta el origen de las células bacterianas, y argumenta que éstas han de haber tenido un papel fundamental en la formación de las «protocélulas» a partir de las cuales evolucionaron las primeras células: «Debido a la continuidad histórica, los procesos prebióticos deberían dejar su impronta en la bioquímica contemporánea.»⁴²

Tras identificar los principios básicos de la física y la química que debieron de intervenir en la formación de protocélulas, Morowitz se pregunta: ¿cómo pudo la materia, sujeta a estos principios y a los flujos de energía disponibles a la sazón sobre la superficie del planeta, organizarse a sí misma hasta el punto de alumbrar diversos niveles de protocélulas y, finalmente, la primera célula viva?

LOS ELEMENTOS DE LA VIDA

Los elementos básicos de la química de la vida son sus átomos, sus moléculas y sus procesos químicos o «itinerarios metabólicos». En su detallado análisis de estos elementos, Morowitz expone convincentemente que las raíces de la vida se hunden en los principios fundamentales de la física y de la química.

Podemos comenzar observando que para la formación de estructuras bioquímicas complejas son necesarios numerosos vínculos químicos, así como que el carbono (C), el nitrógeno (N) y el oxígeno (O) son los únicos átomos que forman regularmente vínculos múltiples. También sabemos que los elementos más ligeros son los que forman los vínculos químicos más

fuertes. No resulta, por tanto, sorprendente que, junto con el hidrógeno (H), el más ligero de todos, esos tres elementos sean los protagonistas de la estructura biológica.

Sabemos igualmente que la vida se inició en el agua y que la vida celular sigue desarrollándose en un entorno acuoso. Morowitz señala que las moléculas de agua (H₂O) tienen una elevada polaridad eléctrica, debido a que sus electrones permanecen más próximos al átomo de oxígeno que a los de hidrógeno, de modo que imprimen una carga positiva sobre el H y negativa sobre el O. Esta polaridad constituye una característica fundamental de los factores moleculares de la bioquímica, y, en particular, para la formación de las membranas, como veremos más adelante.

Los otros dos átomos importantes en los sistemas biológicos son el fósforo (P) y el azufre (S). Ambos elementos presentan características químicas únicas debido a la enorme versatilidad de sus compuestos. Los bioquímicos opinan que ambos tienen que haber sido los principales componentes de la química prebiótica. En particular, determinados fosfatos son fundamentales para la transformación y la distribución de la energía química, tan importante antaño para la evolución prebiótica como actualmente para el metabolismo celular.

Al pasar de átomos a moléculas, nos encontramos con un conjunto universal de pequeñas moléculas que todas las células utilizan como alimento en su metabolismo. Si bien los animales ingieren muchas moléculas grandes y complejas, éstas tienen que ser fragmentadas en pequeños componentes antes de entrar en los procesos metabólicos de las células. Además, el número total de las moléculas de alimento no pasa de unos pocos centenares, lo cual no deja de ser sorprendente, habida cuenta de la enorme cantidad de pequeños compuestos que pueden formarse a partir de los átomos de C, H, N, O, P y S.

La universalidad de los tipos de átomos y moléculas en las células vivas contemporáneas y su reducido número constituye un fuerte indicio de su origen evolutivo común en las primeras protocélulas, hipótesis que se refuerza cuando observamos los itinerarios

rios metabólicos que constituyen la química básica de la vida. Una vez más nos encontramos con los mismos fenómenos. En palabras de Morowitz: «No obstante la enorme diversidad de tipos biológicos, que incluye millones de especies diferenciadas, la variedad de itinerarios bioquímicos es pequeña, muestra limitaciones y está universalmente distribuida.»⁴³ Es muy probable que el núcleo de esta red metabólica, o «mapa metabólico», represente una química primordial que guarde importantes secretos acerca del origen de la vida.

BURBUJAS DE VIDA MÍNIMA

Como hemos visto, una observación y un análisis cuidadosos de los elementos fundamentales de la vida sugieren firmemente que la vida celular tiene sus raíces en una física y una química universales, existentes con mucha anterioridad a la evolución de las células vivas. Pasemos ahora a la segunda línea de investigación propuesta por Harold Morowitz: ¿cómo, dentro de los constreñimientos de esa física y esa química primordiales, y sin otros ingredientes, logró la materia organizarse a sí misma hasta el punto de evolucionar y llegar a convertirse en las complejas moléculas de las que emergería la vida?

La idea de que pequeñas moléculas presentes en una «sopa química» primordial se aglutinaran espontáneamente en estructuras de creciente complejidad es radicalmente contraria a cualquier experiencia convencional con sistemas químicos simples. En consecuencia, numerosos científicos han argumentado que las probabilidades de semejante evolución prebiótica son mínimas o bien que, para que ello hubiera sucedido, habría tenido que darse una circunstancia extraordinaria desencadenante, como la llegada a la Tierra de macromoléculas procedentes de meteoritos.

Hoy día, sin embargo, nuestra posición de partida para resolver ese rompecabezas es radicalmente distinta. Los científicos

que trabajan en ese campo han llegado a percatarse de que el fallo del argumento convencional estriba en la idea de que la vida tiene que haber emergido a partir de una sopa química primordial mediante un progresivo incremento de la complejidad molecular. El nuevo pensamiento, como Morowitz subraya repetidamente, parte de la hipótesis de que muy al principio, mucho antes del incremento de la complejidad molecular, algunas moléculas se reunieron y formaron membranas primitivas que constituyeron espontáneamente burbujas cerradas, y que la evolución de la complejidad molecular no tuvo lugar en el seno de una sopa química sin estructurar, sino en el interior de esas burbujas precursoras de vida.

Antes de entrar en los detalles de cómo esas burbujas primitivas, aisladas por membranas y conocidas por los químicos como «vesículas», pudieron llegar a formarse espontáneamente, deseo detenerme a analizar las tremendas consecuencias de semejante proceso. Con la formación de vesículas se establecían de repente dos entornos distintos —el interno y el externo—, en los cuales podían desarrollarse diferencias de composición.

Como demuestra Morowitz, el volumen interno de una vesícula proporciona un microentorno cerrado en el que pueden ocurrir reacciones químicas dirigidas, lo cual representa la posibilidad de que se produzcan en grandes cantidades moléculas normalmente escasas. Entre dichas moléculas se incluyen, en particular, los elementos constitutivos fundamentales de la propia membrana, que pasan a incorporarse a la membrana ya existente, de forma que su superficie total aumenta. En algún punto de este proceso de crecimiento las fuerzas estabilizadoras ya no son capaces de mantener la integridad de la membrana, y la vesícula se fragmenta en dos o más burbujas de menor tamaño.⁴⁴

Estos procesos de crecimiento y replicación ocurrirán tan sólo mientras exista un flujo de materia y energía que atraviese la membrana. Morowitz describe de forma plausible el modo como pudo haber sucedido.⁴⁵ Al ser las membranas de las vesículas semipermeables, diversas moléculas pequeñas pueden pe-

netrar en las burbujas o ser incorporadas a la propia membrana. Entre dichas moléculas estarían presentes cromóforos, moléculas capaces de absorber luz solar. Su presencia generaría potenciales eléctricos en la membrana, y de este modo la vesícula se convierte en un dispositivo conversor de la energía luminosa en energía eléctrica potencial. Una vez establecido este sistema de conversión de la energía, ya resultaría posible que un flujo continuo de energía activara los procesos químicos que ocurrieran en el interior de la vesícula. Con el tiempo, tiene lugar un perfeccionamiento de este escenario energético cuando las reacciones químicas en las burbujas comienzan a producir fosfatos, muy eficaces para la transformación de la energía química y su distribución.

Morowitz señala asimismo que el flujo de materia y energía es necesario no tan sólo para el crecimiento y la replicación de las vesículas, sino también para la mera persistencia de estructuras estables. Puesto que tales estructuras surgen de acontecimientos aleatorios en el ámbito químico y están sujetas a la decadencia térmica, se encuentran por su propia naturaleza lejos del equilibrio, por lo que sólo pueden ser preservadas mediante un continuo procesado de materia y energía.⁴⁶ Llegados a este punto, parece ya evidente que en esas burbujas primitivas delimitadas por membranas se manifiestan de forma rudimentaria dos características definitorias de la vida celular. Las vesículas son sistemas abiertos, sujetos a flujos continuos de materia y energía, mientras que su interior constituye un espacio relativamente cerrado, en el que resulta posible el desarrollo de redes de reacciones químicas, propiedades ambas que podemos reconocer como las raíces de las redes vivas y de sus estructuras disipativas.

El escenario para la evolución prebiótica está ya listo. En una gran población de vesículas pueden darse numerosas diferencias entre sus propiedades químicas y sus componentes estructurales. Si estas diferencias persisten en el momento de dividirse las burbujas, podemos comenzar a hablar ya de una memoria pregenética y de especies de vesículas, y puesto que

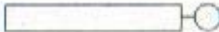
esas especies competirán por la energía y por determinadas moléculas de su entorno, se pone en marcha una especie de dinámica de competición y de selección natural darwiniana, en la cual determinados accidentes moleculares serán amplificados y seleccionados por sus ventajas «evolutivas». Por añadidura, es posible que ocurra también la fusión accidental de diferentes clases de vesículas, lo cual podrá redundar en sinergias de propiedades químicas ventajosas que preludien el fenómeno de la simbiogénesis (creación de nuevas formas de vida a través de la simbiosis de organismos) en la evolución biológica.⁴⁷

Vemos así que diversos mecanismos puramente físicos y químicos proporcionan a las vesículas circundadas por membranas el potencial para evolucionar, a través de la selección natural, hacia estructuras complejas y autoproductoras en esas etapas iniciales, sin necesitar para ello la participación de enzimas o genes.⁴⁸

LAS MEMBRANAS

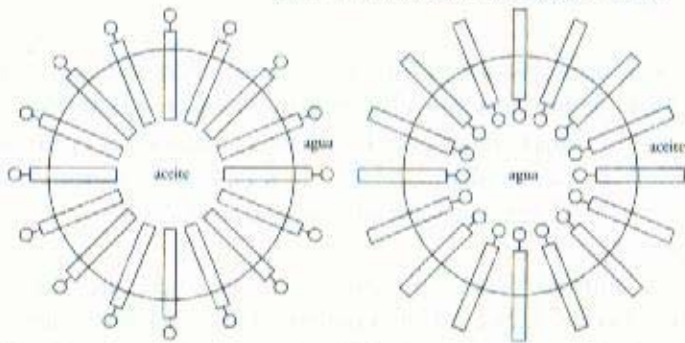
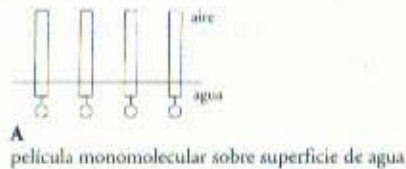
Volvamos ahora a la formación de las membranas y de las burbujas delimitadas por ellas. Según Morowitz, la formación de tales burbujas constituye el paso más crucial de la evolución prebiótica: «La transformación de la membrana [primitiva] en una "vesícula" cerrada representa una transición discreta de la no vida a la vida.»⁴⁹

La química de este proceso crucial es sorprendentemente simple y común. Se basa en la polaridad del agua antes mencionada. Debido a dicha polaridad, determinadas moléculas son hidrófilas (atraídas por el agua) y otras hidrófobas (repelidas por el agua). Una tercera categoría de moléculas está constituida por las sustancias grasas o aceitosas, conocidas como lípidos. Se trata de estructuras alargadas, con un extremo hidrófilo y otro hidrófobo, como ilustra la figura siguiente:

extremo hidrófobo  extremo hidrófilo

Molécula lipídica, adaptada de Morowitz (1992)

Cuando estos lípidos entran en contacto con el agua, forman espontáneamente diversas estructuras. Por ejemplo, pueden formar una película monocelular sobre la superficie del agua (ver figura A), o agruparse en gotas aceitosas suspendidas en el agua (ver figura B). Es la clase de capa aceitosa que se produce en la mayonesa, y constituye asimismo la base de la capacidad de los jabones para eliminar manchas de aceite. De forma alternativa, los lípidos pueden también envolver gotas de agua y formar una suspensión en aceite (ver figura C).



B
gotas de aceite en agua

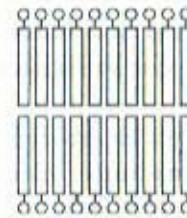
C
gotas de agua en aceite

Estructuras simples formadas por moléculas lipídicas, adaptadas de Morowitz (1992)

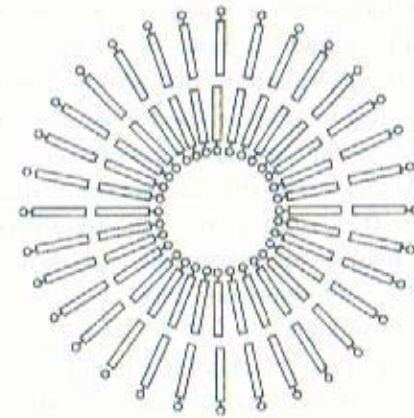
Los lípidos pueden también formar una estructura más compleja, consistente en una doble capa de moléculas con agua a ambos lados, como muestra la figura D. Ésta es, precisamente,

la estructura básica de la membrana, y, al igual que la capa única de moléculas, puede también formar gotas, que serían las vesículas circundadas por membranas de las que estamos hablando (ver figura E). Esas membranas grasas de doble capa muestran una serie de sorprendentes propiedades, muy similares a las de las membranas celulares contemporáneas: restringen el número de moléculas que penetran en la vesícula, transforman la energía solar en energía eléctrica, e incluso acumulan compuestos de fosfato en su estructura. De hecho, las membranas actuales parecen un perfeccionamiento de esas membranas primordiales, puesto que, como ellas, consisten principalmente en lípidos con proteínas adheridas a la propia membrana o insertas en ella.

Así pues, las vesículas lipídicas son las candidatas ideales para convertirse en las protocélulas de las que evolucionarían las primeras células vivas. Como nos recuerda Morowitz, sus propiedades son tan asombrosas que se hace necesario recordar que se trata de estructuras que se forman de manera espontánea según las leyes fundamentales de la física y la química.⁵⁰ Efectivamente, se forman de manera tan natural como las burbujas cuando juntas agua y aceite y agitas la mezcla.



D
membrana de doble capa



E
vesícula circundada por membrana

Membrana y vesícula formadas por moléculas lipídicas, adaptadas de Morowitz (1992)

En el escenario esbozado por Morowitz las primeras protocélulas se habrían formado hace unos tres mil novecientos millones de años, al enfriarse el planeta y formarse los océanos superficiales y las primeras rocas, cuando el carbono, al combinarse con los demás elementos básicos para la vida, habría dado origen a gran variedad de compuestos químicos.

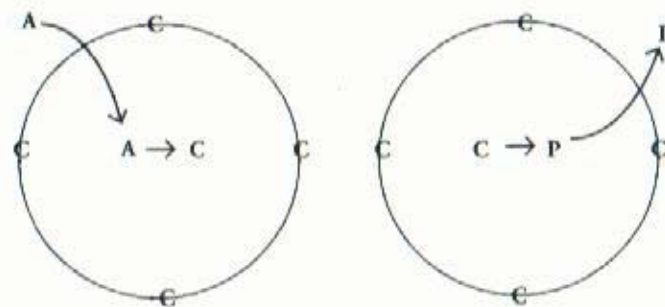
Entre tales compuestos se contaban unas sustancias aceitosas denominadas parafinas, constituidas por largas cadenas de hidrocarburos. Las interacciones de esas parafinas con agua y diversos minerales disueltos habrían originado los lípidos, que, a su vez, se habrían condensado en una variedad de gotas y habrían formado, asimismo, delgadas láminas de una y dos capas. Por la acción de las olas, esas láminas habrían formado espontáneamente vesículas cerradas, y se habría iniciado así la transición hacia la vida.

LA RECREACIÓN DE LAS PROTOCÉLULAS EN EL LABORATORIO

El escenario de Morowitz sigue siendo especulativo, puesto que, hasta el momento presente, ningún químico ha conseguido producir lípidos a partir de moléculas pequeñas. Todos los lípidos presentes en nuestro entorno derivan del petróleo o de otras sustancias orgánicas. Con todo, el hecho de centrar la atención en las membranas y las vesículas, en vez de hacerlo en el ADN y el ARN, ha abierto una nueva e intrigante vía, que ya ha dado como fruto numerosos y estimulantes resultados.

Uno de los equipos de investigación pioneros en este campo es el liderado por Pier Luigi Luisi en el Instituto Federal de Tecnología de Zurich. Luisi y sus colaboradores han conseguido preparar medios simples de «jabón y agua» en los que se forman espontáneamente vesículas como las descritas aquí, las cuales, según las reacciones químicas involucradas, se perpetúan, crecen y se autorreplican, o se colapsan de nuevo.⁵¹

Luisi subraya que las vesículas autorreplicantes producidas en su laboratorio son sistemas autopoiesicos mínimos, en los



Las dos reacciones básicas de un sistema autopoiesico mínimo, de Luisi (1993)

que las reacciones químicas están circunscritas al ámbito cerrado por un perímetro formado exclusivamente con los productos de esas mismas reacciones. En el caso más simple, ilustrado más arriba, el perímetro está formado por un solo elemento (C). Hay un solo tipo de molécula (A) que puede traspasar la membrana y generar C en la reacción $A \rightarrow C$ dentro de la burbuja. Existe también una reacción de descomposición $C \rightarrow P$, tras la cual el producto P abandona la vesícula. Según sean las proporciones entre esas dos reacciones básicas, la vesícula crecerá y se autorreplicará, permanecerá estable o se colapsará.

Luisi y sus colaboradores han llevado a cabo experimentos con numerosos tipos de vesículas y con diversas reacciones químicas en su interior.⁵² Al haber conseguido protocélulas autopoiesicas formadas espontáneamente, estos bioquímicos han logrado recrear lo que tal vez constituyera el paso más crítico de la evolución prebiótica.

CATALIZADORES Y COMPLEJIDAD

Una vez formadas las protocélulas y entradas en escena las moléculas de absorción y transformación de luz solar, la evolución hacia una mayor complejidad tenía el camino abierto. En ese estadio los elementos de los compuestos químicos eran C,

H, O, P y, probablemente, S. Con la entrada del nitrógeno en el sistema, se supone que en forma de amoníaco (NH_3), resultaba posible un espectacular incremento de la complejidad molecular, puesto que el nitrógeno es esencial para dos de las características de la vida celular: la catálisis y el almacenamiento de información.⁵³

Los catalizadores incrementan los niveles de las reacciones químicas sin verse alterados durante el proceso, y hacen posibles, además, reacciones que no podrían ocurrir sin su participación. Las reacciones catalíticas son procesos cruciales en la química de la vida. En las células contemporáneas son las enzimas las que actúan como mediadoras, pero en las etapas iniciales de las protocélulas estas complejas macromoléculas no existían todavía.

Sin embargo, los científicos han descubierto que determinadas moléculas pequeñas, que se adhieren a las membranas, pueden tener también propiedades catalíticas. Morowitz supone que la entrada del nitrógeno en la química de las protocélulas dio pie a la formación de esos catalizadores primitivos. De momento, los investigadores del Instituto Federal de Tecnología de Zurich han logrado recrear ese paso crucial añadiendo moléculas con propiedades catalíticas débiles a las membranas de las vesículas formadas en su laboratorio.⁵⁴

Con la aparición en escena de los catalizadores la complejidad molecular se incrementó rápidamente, gracias a la capacidad de esos mediadores para crear redes químicas que vinculan distintas reacciones. Cuando esto sucede, entra en juego toda la dinámica no lineal de redes, que incluye, en particular, la emergencia de nuevas formas de orden, como demuestran Ilya Prigogine y Manfred Eigen, premios Nobel de Química y pioneros en el estudio de los sistemas químicos autoorganizativos.⁵⁵

Con la ayuda de reacciones catalíticas cualquier acontecimiento aleatorio beneficioso podía ampliarse considerablemente, y se habría desarrollado así una modalidad de competición plenamente darwiniana que habría empujado a las protocélulas hacia una creciente complejidad, cada vez más alejada del equilibrio y más próxima a la vida.

El paso final en la emergencia de la vida a partir de protocélulas fue la evolución de las proteínas, de los ácidos nucleicos y del código genético. Hoy por hoy, los detalles de esa fase siguen siendo un misterio, pero no hay que olvidar que la evolución de redes catalíticas en el interior de los espacios cerrados de las protocélulas creó un nuevo tipo de red química que aún no se entiende del todo. Cabe esperar que la aplicación de la dinámica no lineal a esas complejas redes químicas, junto con esa «explosión de nuevos conceptos matemáticos» que pronostica Ian Stewart, arrojen una considerable luz sobre esa última fase de la evolución prebiótica. Harold Morowitz señala que el análisis de los itinerarios químicos que conducen desde pequeñas moléculas hasta aminoácidos revela una extraordinaria serie de correlaciones, que parecen indicar la presencia de una «profunda lógica de redes» en el desarrollo del código genético.⁵⁶

Otro interesante descubrimiento consiste en que, en espacios cerrados sujetos a flujos continuos de energía, las redes químicas desarrollan procesos sorprendentemente parecidos a los de los ecosistemas. Por ejemplo, en sistemas producidos en laboratorio se han manifestado características significativas de la fotosíntesis biológica y del ciclo ecológico del carbono. La circulación de la materia parece constituir una característica general de las redes químicas mantenidas lejos del equilibrio por un flujo constante de energía.⁵⁷

«El mensaje omnipresente», concluye Morowitz, «parece consistir en la necesidad de comprender la compleja red de reacciones orgánicas que contienen mediadores que son, a su vez, catalizadores de otras reacciones [...] Si supiésemos cómo tratar más adecuadamente con las redes químicas, gran número de otros problemas de la química prebiótica se simplificarían enormemente.»⁵⁸ Es probable que, cuando otros bioquímicos se interesen también por la dinámica no lineal, las nuevas «biomatemáticas» planteadas por Stewart incluyan una teoría adecuada de redes químicas que nos revele por fin los secretos de la última etapa de la emergencia de la vida.

Una vez codificada la memoria en macromoléculas, las redes químicas delimitadas por membranas adquirieron todas las características esenciales de las células bacterianas actuales. Este hito crucial en la evolución de la vida tuvo lugar tal vez hace unos tres mil ochocientos millones de años, unos cien millones de años después de la formación de las primeras protocélulas, y significó la emergencia de un antepasado universal —sea éste una única célula o una población de ellas—, del que descienden todas las formas de vida sobre el planeta. Como explica Morowitz: «Aunque no lleguemos a saber cuántos orígenes independientes de la vida celular hayan podido darse, no cabe duda de que cualquier forma presente de vida desciende de un clon único. Se trata de una conclusión que se desprende de la universalidad de las redes y los programas bioquímicos de la síntesis macromolecular.»⁵⁹ Este antepasado universal tuvo que superar, por fuerza, a todas las protocélulas. Sus descendientes colonizaron la Tierra tejiendo una red bacteriana planetaria y ocupando todos los nichos ecológicos disponibles, lo que hizo posible la emergencia de otras formas de vida.

El despliegue global de la vida procedió a través de tres vías principales de evolución.⁶⁰ La primera de ellas, aunque tal vez la menos importante, consiste en la mutación aleatoria de genes, pieza clave de la teoría neodarwiniana. La mutación genética es provocada por un error accidental en la autorreplicación del ADN, cuando las dos cadenas de la doble hélice se separan y cada una de ellas actúa como plantilla para la formación de una nueva cadena complementaria. Tales errores accidentales no parecen ocurrir con la suficiente frecuencia para explicar la evolución de la gran diversidad de formas de vida, habida cuenta del hecho bien conocido de que la mayor parte de las mutaciones son perjudiciales y de que muy pocas de ellas desembocan en variaciones útiles.⁶¹

En el caso de las bacterias la situación es distinta, puesto que se dividen con tanta rapidez que de una sola célula pueden

generarse varios miles de millones en pocos días. Debido a ese desenfrenado ritmo de reproducción cualquier mutación bacteriana exitosa puede extenderse rápidamente por su entorno; por este motivo la mutación constituye una vía evolutiva importante para las bacterias.

Las bacterias han desarrollado asimismo una segunda vía de creatividad evolutiva, inmensamente más eficaz que la mutación aleatoria, que consiste en el libre intercambio de rasgos hereditarios en una red global de poder y eficacia pasmosos. El descubrimiento de ese intercambio global de genes, conocido técnicamente como recombinación del ADN, figura por derecho propio entre los hallazgos más sorprendentes de la biología moderna. Lynn Margulis lo describe vivamente: «La transferencia genética horizontal entre las bacterias es algo así como si te tiraras en una piscina con ojos pardos y salieras de ella con ojos azules.»⁶²

Esta transferencia de genes tiene lugar de forma continua, y se da el caso de que muchas bacterias llegan a cambiar hasta el quince por ciento de su material genético en un solo día. Como explica Margulis: «Cuando una bacteria se siente amenazada, dispersa su material genético en el entorno y todas las demás lo recogen: en pocos meses habrá dado la vuelta al mundo.»⁶³ Puesto que cualquier cepa bacteriana es potencialmente susceptible de compartir de este modo rasgos hereditarios, algunos microbiólogos argumentan que, estrictamente hablando, las bacterias no deberían ser clasificadas en especies,⁶⁴ o, en otras palabras, que todas las bacterias forman parte de una misma red de vida, global y microscópica.

Así pues, y volviendo a la evolución, las bacterias están capacitadas para acumular mutaciones aleatorias, junto con grandes fragmentos de ADN, a través del intercambio de genes. Por consiguiente, disponen de una enorme capacidad para adaptarse a los cambios del medio. La velocidad con la que se expande la resistencia a los fármacos constituye una prueba espectacular de la eficacia de las redes bacterianas de comunicación. En una verdadera lección de humildad, la microbiología nos enseña

que tecnologías tales como la ingeniería genética o las redes globales de comunicación, generalmente consideradas logros avanzados de nuestra civilización moderna, son usadas por la red bacteriana planetaria desde hace miles de millones de años.

Durante los primeros dos mil millones de años de evolución biológica, las bacterias y otros microorganismos fueron las únicas formas de vida sobre el planeta. En aquella época, las bacterias transformaron sin cesar la superficie y la atmósfera de la Tierra, y establecieron los bucles globales de retroalimentación necesarios para la autorregulación del sistema de Gaia. Al hacerlo inventaron la totalidad de las biotecnologías esenciales para la vida, que incluyen la fermentación, la fotosíntesis, la fijación del nitrógeno, la respiración y diversos dispositivos de desplazamiento rápido. Recientes investigaciones en microbiología han dejado claro que, por lo que a procesos vitales se refiere, la red bacteriana ha constituido, sin duda, la principal fuente de creatividad evolutiva.

Pero ¿qué decir de la evolución de la forma biológica, de la descomunal variedad de seres vivos en el mundo visible? Si las mutaciones aleatorias no constituyen para ellas un mecanismo eficaz, si no intercambian genes como hacen las bacterias, ¿cómo llegaron a evolucionar las formas superiores de vida? Lynn Margulis responde a esta pregunta con una tercera vía de evolución, la evolución por simbiosis, con profundas implicaciones en todas las ramas de la biología.

La simbiosis, la tendencia de diferentes organismos a vivir en íntima asociación, e incluso unos dentro de otros (como las bacterias de nuestros intestinos), es un fenómeno muy extendido y bien conocido. Sin embargo, Margulis fue un paso más allá al proponer la hipótesis de que las simbiosis de larga duración, que implican a bacterias u otros microorganismos que habitan en el interior de células de mayor tamaño, ha conducido a la aparición de nuevas formas de vida. Margulis publicó por primera vez su sorprendente hipótesis a mediados de los sesenta, y la desarrolló posteriormente con el paso del tiempo hasta convertirla en una teoría completa, conocida hoy como «sim-

biogénesis», que contempla la creación de nuevas formas de vida, mediante acomodos simbióticos permanentes, como la vía principal de evolución de todos los organismos superiores.⁶⁵

Una vez más queda demostrado el papel fundamental de las bacterias en la evolución, en esta ocasión por medio de la simbiosis. Al fundirse simbióticamente determinadas bacterias pequeñas con células mayores y quedarse a vivir en su interior como orgánulos, la evolución dio un paso gigantesco: la creación de células animales y vegetales capaces de reproducirse sexualmente, las cuales acabarían evolucionando en los organismos vivos que podemos ver hoy a nuestro alrededor. Durante su evolución esos organismos continuaron absorbiendo bacterias e incorporándose partes de sus genomas para sintetizar las proteínas necesarias para nuevas estructuras y nuevas funciones biológicas, de forma no muy distinta a las absorciones y fusiones empresariales del mundo de los negocios de nuestros días. Por ejemplo, se han ido acumulando pruebas que evidencian que los microtúbulos, esenciales en la arquitectura del cerebro, son una aportación original de las bacterias parecidas a sacacorchos conocidas como espiroquetas.⁶⁶

El desarrollo evolutivo de la vida a lo largo de miles de millones de años constituye una historia sobrecogedora, bellamente relatada por Lynn Margulis y Dorion Sagan en su libro titulado *Microcosmos*.⁶⁷ Impulsada por la creatividad inherente a todos los sistemas vivos, expresada a través de las vías de la mutación, el intercambio de genes y la simbiosis, y estimulada por la selección natural, la red planetaria de la vida crecía en tamaño y complejidad hacia formas de diversidad cada vez mayor.

Este majestuoso desarrollo no tenía lugar mediante cambios graduales y continuos en el tiempo. Los registros fósiles demuestran claramente que, a lo largo de la historia de la evolución, han existido dilatados períodos de estabilidad, o estasis, caracterizados por escasas variaciones genéticas y sacudidos por súbitas y espectaculares transiciones.⁶⁸ Este escenario de «equilibrios que se rompían bruscamente» indica que las transiciones repentinas tuvieron que ser causadas por mecanismos muy dis-

tintos de las mutaciones aleatorias de la teoría neodarwiniana, así como que en dicho escenario la creación de nuevas especies por medio de la simbiosis parece haber tenido un papel crucial. Como dice Margulis: «En la dilatada perspectiva del tiempo geológico, las simbiosis son como fogonazos de relámpagos evolutivos.»⁶⁹

La repetida ocurrencia de catástrofes, seguidas de intensos períodos de crecimiento e innovación, constituye otro patrón sorprendente de la historia de la evolución. De ese modo las extinciones en masa más devastadoras que el mundo ha visto jamás fueron rápidamente sucedidas, hace doscientos cuarenta y cinco millones de años, por la evolución de los mamíferos. La catástrofe planetaria que borró a los dinosaurios de la faz de la Tierra sesenta y seis millones de años atrás abrió el camino a la evolución de los primeros primates y, con el tiempo, de la especie humana.

¿QUÉ ES LA VIDA?

Volvamos de nuevo a la pregunta que abre el presente capítulo —¿Cuáles son las características definitorias de los sistemas vivos?— y resumamos lo que hemos visto hasta aquí. Centrándonos en las bacterias en cuanto sistemas vivos más simples, hemos definido la célula viva como una red metabólica delimitada por una membrana, autogenética y organizativamente cerrada. Esta red involucra diversos tipos de macromoléculas de gran complejidad: proteínas estructurales; enzimas, que actúan como catalizadores de procesos metabólicos; ARN, que actúa como mensajero en la transmisión de información genética; y ADN, que almacena esta información y es el responsable de la autorreplicación de la célula.

También hemos visto que la red celular es material y energéticamente abierta, que utiliza un flujo constante de materia y energía para producirse, regenerarse y perpetuarse a sí misma, y que funciona lejos del equilibrio, allí donde pueden emerger es-

pontáneamente nuevas estructuras y nuevas formas de orden, lo que permite el desarrollo y la evolución.

Finalmente, hemos visto también que una forma prebiótica de evolución, que implica burbujas de «vida mínima» cerradas por membranas, se inició mucho antes de la emergencia de la primera célula viva, así como que las raíces de la vida se hunden profundamente en la química y la física básicas de esas protocélulas.

Hemos identificado asimismo las tres vías principales de evolución —mutación, intercambio de genes y simbiosis—, a través de las cuales la vida se fue desarrollando a lo largo de tres mil millones de años, desde los antepasados bacterianos universales hasta la emergencia de seres humanos, sin que en ningún momento se quebrara el patrón fundamental de sus redes autogenéticas.

Para extender la comprensión de la naturaleza de la vida a la dimensión social humana, que es la tarea principal de esta obra, tendremos que manejar el pensamiento conceptual, los valores, el significado y el propósito, fenómenos que pertenecen al ámbito de la consciencia y la cultura humanas. Ello significa que deberemos ampliar nuestra comprensión de los sistemas vivos con la comprensión de la mente y la consciencia.

A medida que desplazemos nuestra atención a la dimensión cognitiva de la vida, comprobaremos que nace una nueva visión unificada de la vida, la mente y la consciencia, en la que la consciencia humana está inextricablemente ligada al mundo social de las relaciones interpersonales y de la cultura. Y, lo que es más, descubriremos que esa visión unificada nos permite comprender la dimensión espiritual de la vida de un modo plenamente coherente con los conceptos tradicionales de espiritualidad.

2. LA MENTE Y LA CONSCIENCIA

Una de las implicaciones filosóficas de la nueva comprensión de la vida consiste en un nuevo concepto de la naturaleza de la mente y la consciencia, que supera por fin la división cartesiana entre mente y materia. En el siglo XVII René Descartes basó su visión de la naturaleza en la división fundamental entre dos ámbitos separados e independientes: el de la mente o «sustancia pensante» (*res cogitans*) y el de la materia o «sustancia extensa» (*res extensa*). Esta división conceptual entre mente y materia ha dominado la ciencia y la filosofía occidentales durante más de tres siglos.

Siguiendo a Descartes, científicos y filósofos continuaron considerando a la mente una entidad intangible, con lo que quedaban incapacitados para imaginar cómo podía estar relacionada con el cuerpo aquella «sustancia pensante». A pesar de que los neurólogos conocían desde el siglo XIX la íntima conexión entre estructuras cerebrales y funciones mentales, la relación exacta entre mente y cerebro seguía siendo un misterio. En fecha tan reciente como 1994 los editores de una antología titulada *Consciousness in Philosophy and Cognitive Neuroscience* manifestaban en su introducción: «Si bien todos parecen estar de acuerdo en que la mente tiene algo que ver con el cerebro, sigue sin haber unanimidad acerca de la naturaleza exacta de esa relación».¹

El avance decisivo aportado por la visión sistémica de la vida ha consistido en el abandono de la visión cartesiana de la

mente como sustancia, junto con la constatación de que mente y consciencia no son «sustancias», sino procesos. En biología este nuevo concepto de mente fue desarrollado en los años sesenta por Gregory Bateson, quien empleó por primera vez la expresión «proceso mental», e independientemente por Humberto Maturana, quien centró su atención en la cognición o proceso de conocer.² En los setenta y junto con Francisco Varela, Maturana amplió su trabajo inicial hasta desarrollar una teoría completa, que se conoce como teoría de Santiago de la cognición.³ A lo largo de los últimos veinticinco años el estudio de la mente desde esta perspectiva sistémica ha fructificado en un rico campo interdisciplinario, conocido como ciencia cognitiva, que trasciende los marcos tradicionales de la biología, la psicología y la epistemología.

LA TEORÍA DE SANTIAGO DE LA COGNICIÓN

La premisa fundamental de la teoría de Santiago consiste en la identificación de la cognición, o proceso del conocimiento, con el proceso de la vida. Según Maturana y Varela, la cognición es la actividad implicada en la autogénesis y la autopertuación de redes vivas. En otras palabras, la cognición es el proceso mismo de la vida. La actividad que organiza los sistemas vivos, en todos los niveles de vida, es la actividad mental. Las interacciones de un organismo vivo —planta, animal o humano— con su entorno son interacciones cognitivas. Vida y cognición están, por consiguiente, indisolublemente vinculadas. La mente —o, más exactamente, la actividad mental— es inmanente a la materia, en cualquier nivel de vida.

Semejante visión constituye una ampliación radical del concepto de cognición e, implícitamente, del concepto de mente. Según esta nueva noción, la cognición implica el proceso vital completo —que incluye percepción, emoción y comportamiento—, y ni siquiera requiere ya la existencia de un cerebro y un sistema nervioso.

Según la teoría de Santiago, la cognición está íntimamente relacionada con la autopoiesis o proceso de autogénesis de las redes vivas. La característica definitoria de todo sistema autopoiesico consiste en que experimenta cambios estructurales continuos al mismo tiempo que conserva su patrón organizativo en red. Los componentes de la red se producen y transforman unos a otros continuamente de dos formas distintas. La primera clase de cambios estructurales consiste en la autorrenovación. Todo organismo vivo se renueva a sí mismo continuamente en la medida en que sus células se fragmentan y forman estructuras, y sus tejidos y órganos reemplazan sus células en ciclos continuos. A pesar de este cambio incesante, el organismo mantiene su identidad global, o patrón de organización.

La segunda clase de cambios estructurales en un sistema vivo la constituyen aquellas alteraciones que crean nuevas estructuras, nuevas conexiones en la red autopoiesica. Estos cambios, pertenecientes más al ámbito del desarrollo que al de los ciclos, tienen también lugar de forma continua, ya sea como consecuencia de las influencias del entorno, o bien como resultado de la propia dinámica interna del sistema.

Según la teoría de la autopoiesis, el sistema vivo se acopla al entorno estructuralmente, por ejemplo, mediante interacciones recurrentes, cada una de las cuales activa cambios estructurales en el sistema. Ejemplos: la membrana celular, que incorpora sin cesar sustancias procedentes del medio a los procesos metabólicos de la célula, o el sistema nervioso de un organismo, que cambia su conectividad con cada percepción sensorial. Estos sistemas vivos son, sin embargo, autónomos. El entorno no hace más que activar los cambios estructurales, no los especifica ni los dirige.

El acoplamiento estructural, tal como lo definen Maturana y Varela, establece una clara diferencia entre el modo en que los sistemas vivos y los no vivos interactúan con sus entornos. Por ejemplo, si le das un puntapié a una piedra, ésta *reaccionará* a la patada según una cadena lineal de causa y efecto. Su comportamiento puede ser calculado aplicando las leyes funda-

mentales de la mecánica newtoniana. Sin embargo, si le das el puntapié a un perro, la situación será muy distinta. El can responderá con cambios estructurales acordes con su naturaleza y su patrón (no lineal) de organización. El comportamiento resultante será, generalmente, impredecible.

Puesto que el organismo vivo responde a las influencias del medio con cambios estructurales, éstos alterarán a su vez el comportamiento futuro de aquél. En otras palabras, un sistema estructuralmente acoplado es un sistema que aprende. Los continuos cambios estructurales en respuesta al entorno –y el consiguiente proceso de adaptación, aprendizaje y desarrollo constantes– constituyen características clave del comportamiento de todo ser vivo. Debido a su acoplamiento estructural, podremos decir que el comportamiento del perro es inteligente, pero no podremos decir lo mismo del de la piedra.

A medida que interactúa con su medio, el organismo vivo experimenta una secuencia de cambios estructurales hasta llegar, con el paso del tiempo, a formar su propio e individual itinerario de acoplamiento estructural. En cualquier punto de ese itinerario el organismo es un registro de sus cambios estructurales precedentes y, por consiguiente, de sus anteriores interacciones. En otras palabras, todo ser vivo tiene una historia. La estructura viva es siempre el registro de su propio desarrollo precedente.

Puesto que el organismo registra sus anteriores cambios estructurales y cada uno de ellos influye en su comportamiento futuro, el comportamiento del organismo vivo está dictado por su estructura. En la terminología de Maturana, el comportamiento de los sistemas vivos está «determinado por su estructura».

Esta noción arroja nueva luz sobre el eterno debate filosófico acerca de la libertad y el determinismo. Según Maturana, el comportamiento de un organismo vivo está determinado, pero no tanto por fuerzas externas como por su propia estructura, la cual se ha ido formando mediante una sucesión de cambios estructurales autónomos. Por consiguiente, el comportamiento del organismo a la vez está determinado y es libre.

Así pues, los sistemas vivos responden autónomamente a las perturbaciones del entorno con cambios estructurales; por ejemplo, reordenando su patrón de conectividad. Según Maturana y Varela, nunca es posible dirigir un sistema vivo, sino tan sólo perturbarlo. Y, lo que es más, el sistema vivo no tan sólo especifica sus cambios estructurales, sino también *qué perturbaciones del entorno van a activar esos cambios*. En otras palabras, el sistema vivo mantiene la libertad de decidir a qué debe prestar atención y qué es lo que lo va a perturbar. Ésta es, precisamente, la clave de la teoría de Santiago de la cognición. Al especificar qué perturbaciones del entorno van a activar sus propios cambios, el sistema especifica también el alcance de su ámbito cognitivo. En palabras de Maturana y Varela, «alumbra un mundo».

Así pues, la cognición no es la representación de un mundo con existencia independiente, sino más bien el alumbramiento continuo de un mundo mediante el proceso de vivir. Las interacciones de un sistema vivo con su entorno son interacciones cognitivas, y el propio proceso de vivir es un proceso cognitivo. En palabras de Maturana y Varela, «vivir es conocer». A medida que el organismo vivo recorre su itinerario individual de cambios estructurales, cada uno de éstos se corresponde con un acto de cognición, lo cual significa que aprendizaje y desarrollo son más que dos caras de una misma moneda.

La identificación de la mente, o cognición, con el proceso vital constituye una idea completamente nueva en ciencia, pero sin embargo es una de las intuiciones más profundas y arcaicas de la humanidad. En otros tiempos la mente racional humana era considerada meramente un aspecto más del alma inmaterial o espíritu. La distinción fundamental no se establecía entre cuerpo y mente, sino entre cuerpo y alma, o cuerpo y espíritu.

En los lenguajes de la antigüedad tanto el alma como el espíritu se describen con la metáfora del soplo de vida. Las palabras que designan el «alma» en sánscrito (*atman*), en griego (*psyché*) y en latín (*anima*) significan «aliento». Lo mismo sucede con «espíritu»: tanto en latín (*spiritus*) como en griego (*pneûma*) y en hebreo (*ruah*) las palabras que lo designan significan también «aliento».

La idea común antigua subyacente tras todas estas palabras consiste en que el alma o el espíritu son el aliento o soplo de la vida. De forma parecida, en la teoría de Santiago el concepto de cognición va mucho más allá de la mente racional y abarca el proceso vital en su totalidad. La descripción de la cognición como el soplo de la vida parece una metáfora perfecta.

El adelanto conceptual que representa la teoría de Santiago se aprecia mejor al revisar bajo su luz la espinosa cuestión de la relación entre mente y cerebro. En ella esta relación es simple y clara. La definición cartesiana de la mente como «sustancia pensante» es desechada. La mente ya no es una sustancia, sino un proceso: el proceso de cognición, identificado con el proceso de la vida. El cerebro es una de las estructuras específicas mediante las cuales se realiza ese proceso. La relación entre mente y cerebro es, por consiguiente, una relación entre proceso y estructura. Es más, el cerebro no es la única estructura por medio de la cual se realiza el proceso de cognición, puesto que en él participa la totalidad de la estructura del organismo, con independencia de que esté dotado de cerebro y sistema nervioso superior o no.

En mi opinión, la teoría de Santiago de la cognición constituye la primera teoría científica que consigue superar la división cartesiana entre mente y materia y está, por consiguiente, llamada a tener un sinnúmero de implicaciones de largo alcance. Mente y materia no pertenecen ya a dos categorías distintas, sino que pueden ser vistas como manifestaciones de dos aspectos complementarios del fenómeno de la vida: proceso y estructura. En todos los niveles de vida, desde la célula más simple, mente y materia, proceso y estructura, están inseparablemente conectados.

COGNICIÓN Y CONSCIENCIA

La cognición, tal como la entiende la teoría de Santiago, está asociada a cualquier nivel de vida, por lo que constituye un fenómeno mucho más amplio que la consciencia. Ésta —es de-

cir, la experiencia vivida conscientemente— se desarrolla en determinados niveles de complejidad cognitiva que requieren un cerebro y un sistema nervioso superior. En otras palabras, la consciencia constituye una clase particular de proceso cognitivo, que emerge cuando la cognición alcanza determinado grado de complejidad.

Resulta interesante observar que la noción de consciencia como proceso ya aparece en la ciencia a finales del siglo XIX, en los escritos de William James, considerado por muchos el más grande psicólogo estadounidense. James era un crítico acérrimo de las teorías reduccionistas y materialistas que dominaban la psicología por aquel entonces, y defendía con fervor, ya en aquellos tiempos, la interdependencia entre mente y cuerpo. Señaló que la consciencia no es una sustancia, sino una corriente continuamente cambiante, y subrayó la naturaleza personal, continua y altamente integrada de ese flujo de consciencia.⁴

En los años siguientes, sin embargo, los excepcionales puntos de vista de William James no consiguieron romper el hechizo cartesiano sobre los practicantes de la psicología y las ciencias naturales, y su influencia no volvió a aparecer en escena hasta las últimas décadas del siglo XX. Incluso en los años setenta y ochenta, cuando algunos psicólogos estadounidenses formularon nuevos planteamientos humanísticos y transpersonales, el estudio de la consciencia como experiencia vivida seguía siendo tabú para la ciencia cognitiva.

Durante los noventa, sin embargo, la situación cambió espectacularmente. Al mismo tiempo que la ciencia de la cognición se establecía por derecho propio como extenso campo de estudio interdisciplinar, se desarrollaban nuevas técnicas no invasoras para el análisis de las funciones cerebrales, las cuales hicieron posible la observación de complejos procesos neurales, asociados con la imaginería mental y otras experiencias humanas.⁵ De repente el estudio científico de la consciencia se transformó en un campo de investigación atractivo y respetable. En pocos años aparecieron varios libros sobre la naturaleza de la consciencia, firmados por algunos premios Nobel y otros cientí-

ficos eminentes; el recientemente creado *Journal of Consciousness Studies* publicó docenas de artículos suscritos por filósofos e investigadores de ciencia cognitiva punteros; y «Hacia una ciencia de la consciencia» se convirtió en un tema popular en las grandes conferencias científicas.⁶

Aunque científicos de la cognición y filósofos hayan propuesto numerosos planteamientos distintos para el estudio de la consciencia, lo que ha provocado en ocasiones acalorados debates al respecto, parece ir naciendo cierto consenso sobre dos puntos de importancia. El primero, ya mencionado anteriormente, consiste en el reconocimiento de la consciencia como un proceso cognitivo resultante de una compleja actividad neural. El segundo consiste en la distinción entre dos clases de consciencia —en otras palabras, dos tipos de experiencia cognitiva— que se dan en niveles distintos de complejidad neural.

El primer tipo de consciencia, conocido como «consciencia primaria», surge cuando los procesos cognitivos van acompañados por experiencias perceptivas, sensoriales y emocionales básicas. Se trata de una clase de consciencia experimentada, probablemente, por la mayor parte de los mamíferos y tal vez por algunos pájaros y otros vertebrados.⁷ El segundo tipo de consciencia, denominado en ocasiones «consciencia de orden superior»,⁸ implica la consciencia de sí mismo, un concepto del propio ser mantenido por un sujeto pensante y reflexivo. Esta experiencia de la propia consciencia emergió durante la evolución de los grandes simios u «homínidos», junto con el lenguaje, el pensamiento conceptual y las demás características que acabaron desarrollándose plenamente en la consciencia humana. Debido al papel crucial que tiene la reflexión en esta experiencia de consciencia de orden superior, la denominaré «consciencia reflexiva».

Esta consciencia reflexiva implica un nivel de abstracción cognitiva que incluye la capacidad para mantener imágenes mentales, lo cual nos permite formular valores, creencias, objetivos y estrategias. Esta etapa evolutiva es de importancia capital para el tema principal de la presente obra —la extensión al ámbito social de la nueva comprensión de la vida—, puesto que

con la evolución del lenguaje surgieron no solamente el mundo interno de las ideas y los conceptos, sino también el mundo social de las relaciones organizadas y de la cultura.

LA NATURALEZA DE LA EXPERIENCIA CONSCIENTE

El principal reto para la ciencia de la consciencia consiste en explicar la experiencia asociada a los acontecimientos cognitivos. Dado que cada estado de experiencia consciente se caracteriza por una determinada «sensación cualitativa», los científicos de la cognición denominan *qualia* a esos diferentes estados.⁹ En un artículo frecuentemente citado, el filósofo David Chalmers denominó «el duro problema de la consciencia» al reto de explicar esos *qualia*.¹⁰ Tras revisar a fondo la ciencia cognitiva convencional, Chalmers asegura que ésta no puede explicar por qué determinados procesos neurales dan pie a la experiencia. «Para dar cuenta de la experiencia consciente», asegura Chalmers, «necesitamos un *ingrediente extra* en la explicación.»

Esta declaración evoca reminiscencias del viejo debate entre vitalistas y mecanicistas acerca de la naturaleza de los fenómenos biológicos, que tuvo lugar en las primeras décadas del siglo XX.¹¹ Mientras que los mecanicistas afirmaban que todo fenómeno biológico puede ser explicado en términos de las leyes de la física y la química, los vitalistas mantenían que para explicar esos fenómenos es necesario añadir a esas leyes una «fuerza vital», un «ingrediente» adicional no físico.

El punto de vista que surgió de ese debate, aunque no fue formulado hasta pasadas muchas décadas, es que para explicar los fenómenos biológicos también debemos tomar en consideración la compleja dinámica no lineal de las redes vivas.

Una comprensión plena de los fenómenos biológicos sólo puede darse si se contemplan desde la perspectiva de la interrelación de tres niveles diferentes de descripción: el de la biología del fenómeno observado, el de las leyes de la física y la química y el de la dinámica no lineal de los sistemas complejos.

Me parece que los científicos de la cognición se encuentran en una situación muy parecida, si bien a otro nivel de complejidad, al tratar de plantearse el estudio de la consciencia. La experiencia consciente es un fenómeno emergente, lo cual significa que no puede ser explicada únicamente en términos de mecanismos neurales. La experiencia surge de la compleja dinámica no lineal de las redes neurales, y tan sólo puede ser explicada si nuestros conocimientos de neurobiología se complementan con la comprensión de esa dinámica.

Para alcanzar una comprensión plena de la consciencia, debemos proceder a un cuidadoso análisis de la experiencia consciente, de la física y la química del sistema nervioso y de la dinámica no lineal de las redes neurales. Una verdadera ciencia de la consciencia podrá ser formulada únicamente cuando comprendamos el modo en que estos tres niveles de descripción pueden ser interrelacionados hasta formar lo que Francisco Varela ha denominado la «trenza de tres mechones» de la investigación sobre la consciencia.¹²

Cuando el estudio de la consciencia se emprende trenzando los «tres mechones» de la experiencia, la neurobiología y la dinámica no lineal, el «duro problema» se convierte en el reto de comprender y aceptar dos nuevos paradigmas científicos. El primero es el de la teoría de la complejidad. Puesto que la mayoría de los científicos están acostumbrados a trabajar con modelos lineales, se muestran a menudo reticentes a adoptar el marco no lineal de esa teoría, por lo que les resulta difícil apreciar plenamente las implicaciones de la dinámica no lineal. Éste es particularmente el caso en lo relativo al fenómeno de la emergencia.

Eso de que la experiencia emerja de procesos neurofisiológicos parece algo muy misterioso. Sin embargo, es típico de los fenómenos emergentes. La emergencia tiene como resultado innovar, y lo nuevo es a menudo cualitativamente diferente de los fenómenos de los que emergió. Eso es algo que resulta muy fácil de ilustrar con un ejemplo bien conocido procedente de la química: la estructura y las propiedades del azúcar.

Cuando se unen de cierto modo átomos de carbono, oxíge-

no e hidrógeno para formar azúcar, el compuesto resultante tiene sabor dulce. El dulzor no está ni en C, ni en O, ni en H, sino en el patrón que emerge de su interacción. Es decir, se trata de una propiedad emergente. Además, estrictamente hablando, el dulzor ni siquiera es una propiedad de los vínculos químicos, sino una experiencia sensorial que surge cuando las moléculas de azúcar interactúan con la química de nuestras papilas gustativas, las cuales, a su vez, provocan que una serie de neuronas se activen de determinada forma. Por consiguiente, la experiencia del dulzor surge de una actividad neural.

Así pues, el sencillo enunciado de que la propiedad característica del azúcar es su sabor dulce se refiere, realmente, a una serie de fenómenos emergentes a distintos niveles de complejidad. Los químicos no tienen ningún problema conceptual con esos fenómenos emergentes cuando identifican cierta clase de compuestos como azúcares por su sabor dulce, y tampoco lo tendrán los futuros científicos de la cognición con otra clase de fenómenos cuando los analicen en términos de la experiencia consciente resultante, así como en términos de su bioquímica y neurobiología específicas.

Sin embargo, para ello será necesario que esos científicos acepten antes otro paradigma: el reconocimiento de que el análisis de la experiencia vivida, es decir, de los fenómenos subjetivos, tiene que ser parte integrante de toda ciencia de la consciencia,¹³ lo cual significa un profundo cambio de metodología que muchos científicos de la consciencia son reacios a aceptar, actitud que es una de las causas profundas del «duro problema de la consciencia».

La enorme reticencia de los científicos a tratar con los fenómenos subjetivos es parte de nuestra herencia cartesiana. La división fundamental cartesiana entre mente y materia, entre el yo y el mundo, nos llevó a creer que éste podía ser descrito de forma objetiva, es decir, sin mencionar nunca al observador humano. Esa descripción objetiva del mundo se convirtió en el ideal de toda ciencia. Sin embargo, tres siglos después de Descartes, la teoría cuántica demostró que ese ideal clásico de una

ciencia objetiva es insostenible al tratar con fenómenos atómicos. Más recientemente, la teoría de Santiago ha dejado claro que la cognición no es la representación de un mundo con existencia independiente, sino el «alumbramiento» de un mundo a través del proceso de vivir.

Nos hemos dado cuenta de que la dimensión subjetiva está siempre implícita en la práctica de la ciencia, pero que, en general, no constituye el centro explícito de la atención. Por el contrario, en una ciencia de la consciencia parte de los datos que se han de examinar son experiencias subjetivas e internas. Reunir y analizar esos datos de forma sistemática requiere un examen riguroso de la experiencia subjetiva en primera persona. Sólo cuando ese examen se convierta en parte integrante del estudio de la consciencia podremos hablar de una verdadera «ciencia de la consciencia».

Esto no quiere decir que tengamos que abandonar el rigor científico. Al hablar en ciencia de una «descripción objetiva» no nos referimos a una mera colección de reseñas individuales, sino, ante todo y sobre todo, a un cuerpo de conocimiento moldeado, constreñido y regulado por el esfuerzo científico colectivo. Incluso cuando el objeto de investigación consiste en el relato en primera persona de la experiencia consciente, no cabe abandonar la validación intersubjetiva que forma parte de la práctica habitual en ciencia.¹⁴

LAS ESCUELAS DEL ESTUDIO DE LA CONSCIENCIA

La utilización de la teoría de la complejidad y el análisis sistemático de la experiencia consciente en primera persona serán cruciales en la formulación de una adecuada ciencia de la consciencia. Últimamente se han dado algunos pasos importantes en ese sentido. De hecho, la medida en que son utilizadas la dinámica no lineal y la experiencia en primera persona nos sirve para identificar diversas escuelas de pensamiento entre la gran variedad de enfoques actuales del estudio de la consciencia.¹⁵

La primera de ellas es la escuela más tradicional de pensamiento, que cuenta, entre otros, con la neuróloga Patricia Churchland y el biólogo molecular y premio Nobel Francis Crick.¹⁶ Esta escuela ha sido calificada por Francisco Varela de «neurorreduccionista», dado que reduce la consciencia a mecanismos neurales. Así, la consciencia es «explicada», como señala Churchland, de forma muy parecida al modo como se explicó el calor en física cuando se comprendió que era como la energía de las moléculas en movimiento. En palabras de Francis Crick:

«Tú», tus penas y tus alegrías, tus recuerdos y tus ambiciones, tu sentido de tu propia identidad y tu libre albedrío, no sois, en realidad, más que el comportamiento de una gran reunión de células nerviosas y sus moléculas asociadas. Como hubiera podido decir la Alicia de Lewis Carroll: «No eres más que un montón de neuronas.»¹⁷

Crick explica con detalle cómo la consciencia queda reducida al nivel neuronal, y afirma asimismo que la experiencia consciente constituye una propiedad emergente del cerebro como un todo, pero no llega a tratar de la dinámica no lineal implícita en ese proceso de emergencia, por lo que le resulta imposible resolver ese «duro problema de la consciencia». Lo expresa el filósofo John Searle: «¿Cómo es posible que unos chispazos neuronales físicos, objetivos y cuantitativamente descriptibles, puedan causar experiencias cualitativas, íntimas y subjetivas?»¹⁸

La segunda escuela de pensamiento en el estudio de la consciencia, conocida como «funcionalismo», es la más popular entre los científicos de la cognición y los filósofos de nuestros días.¹⁹ Sus defensores afirman que los estados mentales están definidos por su «organización funcional», es decir, por patrones de relaciones causales en el sistema nervioso. Los funcionalistas no son reduccionistas cartesianos, puesto que prestan cuidadosa atención a los patrones neurales no lineales, pero niegan que la experiencia consciente sea un fenómeno emergente e irreductible. A pesar de su aspecto de experiencia irreductible, desde su punto

de vista el estado consciente queda definido por completo por medio de su organización funcional, por lo que podrá ser comprendido cuando el patrón de organización haya sido identificado. Daniel Dennett, uno de los principales funcionalistas, puso a su libro el sugestivo título de *Consciousness Explained*.²⁰

Han sido postulados numerosos patrones de organización funcional por los científicos que estudian la consciencia, y, en consecuencia, existen múltiples ramas del funcionalismo, algunas de las cuales incluyen analogías entre la organización funcional y los programas informáticos, derivadas de las investigaciones en inteligencia artificial.²¹

Una tercera y pequeña escuela, menos conocida, formada por filósofos que se denominan a sí mismos «misterianos», defiende que la consciencia constituye un misterio profundo que la inteligencia humana, habida cuenta de sus limitaciones inherentes, nunca podrá desvelar.²² En su opinión, en la raíz de estas limitaciones reside un dualismo irreductible, que no es otra cosa que la clásica dualidad cartesiana entre mente y materia. La introspección, por un lado, no puede enseñarnos nada acerca del cerebro como objeto físico, mientras que, por otro, el estudio de la estructura cerebral no nos proporciona ningún acceso a la experiencia consciente. Dado que esos pensadores declinan considerar la consciencia como un proceso, al mismo tiempo que no aprecian la naturaleza de los fenómenos emergentes, los misterianos no consiguen superar el abismo cartesiano y concluyen que la naturaleza de la consciencia será siempre un misterio.

Finalmente, existe otra escuela de estudios de la consciencia, pequeña pero en crecimiento, que acepta tanto la teoría de la complejidad como el análisis de la experiencia en primera persona. Francisco Varela, uno de los líderes de esta escuela de pensamiento, le ha puesto por nombre «neurofenomenología».²³ La fenomenología, una rama importante de la filosofía moderna, fundada por Edmund Husserl a principios del siglo XX y desarrollada posteriormente por varios filósofos europeos, entre los que se cuentan Martin Heidegger y Maurice Merleau-

Ponty, se ocupa principalmente del examen disciplinado de la experiencia y se basa en la esperanza de su fundador, que sus seguidores mantienen, de que llegue a establecerse una verdadera ciencia de la experiencia asociada a las ciencias naturales.

La neurofenomenología constituye un enfoque del estudio de la consciencia que combina el examen disciplinado de la experiencia consciente con el análisis de los correspondientes patrones y procesos neurales. Desde ese planteamiento dual, los neurofenomenólogos exploran diversos ámbitos de la experiencia y tratan de comprender cómo emergen éstos de actividades neurales complejas. En su empeño esos científicos de la cognición están dando los primeros pasos hacia la formulación de una verdadera ciencia de la experiencia. Ha sido para mí muy satisfactorio comprobar personalmente que su proyecto tiene mucho en común con la ciencia de la consciencia que propuse hace más de veinte años, en una conversación con el psiquiatra R. D. Laing en la que aventuré que

una verdadera ciencia de la consciencia [...] tendría que ser un nuevo tipo de ciencia que tratara con las cualidades más que con las cantidades, que se basara en la experiencia compartida más que en las mediciones verificables. Los datos de una ciencia así serían patrones de experiencia, que no pueden ser cuantificados ni analizados. Por otro lado, los modelos conceptuales que interrelacionaran esos datos deberían ser lógicamente consistentes, como cualquier modelo científico, e incluso podrían comprender elementos cuantitativos.²⁴

LA VISIÓN DESDE DENTRO

La premisa fundamental de la neurofenomenología consiste en que la psicología del cerebro y la experiencia consciente deben ser tratadas como ámbitos de investigación interdependientes y de igual status. El examen disciplinado de la experiencia y el análisis de los correspondientes patrones y procesos

neurales creará exigencias recíprocas, de modo que las actividades de investigación en ambos dominios podrán guiarse mutuamente en una exploración sistemática de la consciencia.

Los neurofenomenólogos constituyen actualmente un grupo muy diverso. Difieren entre sí en el modo de tomar en consideración la experiencia en primera persona, y han propuesto, en consecuencia, diferentes modelos para los correspondientes procesos neurales. Un monográfico de *Journal of Consciousness Studies*, editado por Francisco Varela y Jonathan Shear, titulado «The View from Within» [«La visión desde dentro»], presenta una visión relativamente detallada de todo el espectro.²⁵

Por lo que concierne a la experiencia en primera persona, se están siguiendo tres planteamientos principales. El primero consiste en la introspección, método desarrollado en los albores de la psicología científica. El segundo es el enfoque estrictamente fenomenológico, tal como lo han desarrollado Husserl y sus seguidores. El tercer planteamiento consiste en la utilización de la acumulación de evidencia procedente de la práctica de la meditación, en particular dentro de la tradición budista. Cualquiera que sea el planteamiento, esos científicos de la cognición insisten en que no están hablando de una inspección casual de la experiencia, sino de la utilización de metodologías estrictas que requieren habilidades especiales y un adiestramiento sostenido, tal como ocurre con las metodologías de otras áreas de la observación científica.

La metodología de la introspección fue defendida como instrumento primordial de la psicología por William James a finales del siglo XIX, y fue estandarizada y practicada con gran entusiasmo en las décadas siguientes. Sin embargo, bien pronto encontró dificultades, no a causa de fallos intrínsecos, sino porque los datos que producía estaban en total contradicción con las hipótesis de partida.²⁶ Las observaciones iban muy por delante de las ideas teóricas del momento, y, en lugar de reexaminar sus teorías, los psicólogos prefirieron criticar las metodologías de sus colegas, lo cual acabó desembocando en una desconfianza general en la práctica de la introspección. Como resultado,

transcurrió medio siglo sin que tuviera lugar ningún desarrollo o mejora de la práctica introspectiva.

En la actualidad los métodos desarrollados por los pioneros de la introspección se hallan, principalmente, en las prácticas de psicoterapeutas y entrenadores deportivos, sin ninguna relación con programas académicos de investigación en ciencia de la cognición. Un pequeño grupo de científicos de la cognición trata de revivir esa tradición durmiente, en aras de una exploración sistemática y sostenida de la experiencia consciente.²⁷

Por el contrario, la fenomenología fue desarrollada por Edmund Husserl como disciplina filosófica, más que como método científico. Su característica central consiste en una operación específica de reflexión, conocida como «reducción fenomenológica»,²⁸ término que no debe ser confundido con el reduccionismo de las ciencias naturales. En sentido filosófico, reducción (del latín *reductio*) significa «retraerse» de la experiencia subjetiva, distanciarse de ella mediante la suspensión de las creencias sobre lo que está siendo experimentado. De este modo, el campo de experiencia aparece más vívidamente presente y puede cultivarse la capacidad de reflexión sistémica. Es lo que se conoce en filosofía como el cambio de la actitud natural a la actitud fenomenológica.

A cualquiera que tenga cierta experiencia en la práctica de la meditación, esta descripción de la actitud fenomenológica no le sonará extraña. De hecho, las tradiciones contemplativas han desarrollado durante siglos técnicas rigurosas para examinar la mente y profundizar en ella, y han demostrado que estas capacidades pueden mejorarse notablemente con el tiempo. A lo largo de la historia de la humanidad el examen disciplinado de la experiencia ha sido utilizado ampliamente en el seno de tradiciones filosóficas y religiosas muy divergentes, que incluyen el hinduismo, el budismo, el taoísmo, el sufismo y la cristianidad. Cabe, pues, esperar que algunas de las introspecciones de esas tradiciones tengan también validez fuera de sus respectivos marcos metafísicos y culturales.²⁹

Ello resulta particularmente aplicable al budismo, que ha florecido en diferentes culturas: se originó con el Buda en la In-

dia, se extendió luego por China, el sudeste de Asia y el Japón, y cruzó muchos siglos después el Pacífico hasta llegar a California. En todos esos distintos contextos culturales la mente y la consciencia han sido siempre los objetivos primarios de las investigaciones contemplativas budistas. Los budistas consideran la mente indisciplinada como un instrumento poco fiable para la observación de los diferentes estados de consciencia, por lo que, siguiendo las instrucciones iniciales del Buda, han desarrollado gran variedad de técnicas para estabilizar y mejorar la atención.³⁰

A lo largo de los siglos los estudiosos budistas han formulado complejas y perspicaces teorías acerca de numerosos aspectos místicos de la experiencia consciente, susceptibles de servir como fecundas fuentes de inspiración para los científicos de la cognición. El diálogo entre ciencia cognitiva y tradiciones budistas contemplativas ya ha comenzado, y los primeros resultados indican que la evidencia aportada por las prácticas meditativas va a ser un valioso componente de cualquier ciencia de la consciencia del futuro.³¹

Las escuelas del estudio de la consciencia antes mencionadas comparten, por encima de todo, la intuición básica de que es un proceso cognitivo, que emerge de la compleja actividad neural. Sin embargo, hay también otros intentos, mayoritariamente por parte de físicos y matemáticos, para explicar la consciencia como una propiedad directa de la materia, y no como un fenómeno asociado con la vida. El matemático Roger Penrose constituye un ejemplo notorio de esta posición al postular que la consciencia es un fenómeno cuántico y afirmar que «no comprendemos la consciencia porque no sabemos lo suficiente acerca del mundo físico».³²

Esas visiones de «mente sin biología», según la acertada expresión del neurólogo y premio Nobel Gerald Edelman,³³ incluyen también la visión del cerebro como complicada computadora. Al igual que muchos científicos de la cognición, opino que se trata de puntos de vista extremos que adolecen de defectos fundamentales, y que la experiencia consciente es una expresión de la vida que emerge de la compleja actividad neural.³⁴

Volvamos ahora a la actividad neural que subyace en la experiencia consciente. En los últimos años los científicos de la cognición han logrado avances significativos en la identificación de los vínculos entre neurofisiología y emergencia de la experiencia. En mi opinión, los modelos más prometedores han sido propuestos por Francisco Varela y, más recientemente, por Gerald Edelman en colaboración con Giulio Tononi.³⁵

En ambos casos los autores presentan precavidamente sus respectivos modelos como meras hipótesis, cuya idea central es la misma en ambos casos. La experiencia consciente no está localizada en ninguna parte específica del cerebro, ni puede ser identificada en términos de estructuras neurales especiales, sino que constituye una propiedad emergente de un determinado proceso cognitivo: la formación de grupos funcionales de neuronas transitorios. Varela denomina «asambleas de células resonantes» a esas agrupaciones, mientras que Tononi y Edelman prefieren hablar de «núcleo dinámico».

Resulta también interesante observar que Tononi y Edelman aceptan la premisa básica de la neurofenomenología, consistente en que la psicología del cerebro y la experiencia consciente deberían ser tratadas como dos ámbitos de investigación interdependientes. «Es una reivindicación fundamental del presente artículo», escriben, «que el análisis de la convergencia entre [...] propiedades fenomenológicas y neurales puede aportar valiosas perspectivas acerca de las clases de procesos neurales que pueden dar cuenta de las correspondientes propiedades de la experiencia consciente.»³⁶

Las dinámicas detalladas de los procesos neurales difieren en ambos modelos, pero tal vez no sean incompatibles. En parte difieren porque sus respectivos autores no centran su atención en las mismas características de la experiencia consciente y, por consiguiente, hacen hincapié en distintas propiedades de las correspondientes agrupaciones neurales.

Varela parte de la observación de que el «espacio mental» de una experiencia consciente se compone de múltiples dimen-

siones. En otras palabras, es creado por numerosas funciones cerebrales distintas, a pesar de lo cual no deja de ser una única experiencia coherente. Por ejemplo, cuando el olor de un perfume evoca en nosotros una sensación placentera o desagradable experimentamos ese estado consciente como un todo integrado, compuesto de percepciones sensoriales, recuerdos y emociones. Como bien sabemos, la experiencia no es constante y puede ser extremadamente breve. Los estados conscientes son transitorios, surgen y desaparecen sin cesar. Otra observación de importancia consiste en que el estado experiencial está siempre «corporeizado», es decir, inmerso en un campo determinado de sensación. De hecho, la mayoría de los estados conscientes parecen tener una sensación dominante que impregna toda la experiencia.³⁷

El mecanismo neural específico propuesto por Varela para la emergencia de estados experienciales transitorios consiste en un fenómeno de resonancia conocido como «bloqueo en fase», en el que distintas regiones del cerebro se interconectan de tal modo que sus neuronas se activan sincrónicamente. A través de esta sincronización de la actividad neural, se constituyen «asambleas de células resonantes» temporales, que pueden estar formadas por circuitos neurales ampliamente dispersos.

Según la hipótesis de Varela, cada experiencia consciente está basada en una asamblea celular específica, en la que gran número de actividades neurales distintas –asociadas con la percepción sensorial, las emociones, la memoria, los movimientos corporales, etcétera– se unifican en un conjunto, transitorio pero coherente, de neuronas oscilantes. Tal vez el mejor símil para explicar esos procesos neurales sea la música.³⁸ Se unifican varios ruidos dispersos y surge la melodía; cuando ésta cesa, surge de nuevo la cacofonía, hasta que emerge otra melodía en el siguiente momento de resonancia.

Varela ha aplicado este modelo con considerable detalle a la exploración de la experiencia del tiempo presente –tema tradicional en los estudios fenomenológicos–, y ha sugerido asimismo exploraciones similares para otros aspectos de la expe-

riencia consciente,³⁹ entre los cuales se cuentan diversas modalidades de atención y sus correspondientes redes e itinerarios neurales; la naturaleza de la voluntad, expresada en el inicio de una acción volitiva; las correlaciones neuronales de las emociones, y las relaciones entre estado de ánimo, emoción y razón. Según Varela, el progreso en estos ámbitos de investigación dependerá, en gran medida, de hasta qué punto los científicos de la cognición estén dispuestos a constituir una tradición sostenida de examen fenomenológico.

Pasemos ahora a los procesos neurales descritos en el modelo de Gerald Edelman y Giulio Tononi. Al igual que Francisco Varela, estos autores subrayan que la experiencia consciente está altamente integrada, y cada estado consciente comprende una única «escena» que no puede ser fragmentada en componentes independientes. Además, señalan que la experiencia consciente está asimismo altamente diferenciada, en el sentido de que es posible experimentar gran número de estados conscientes en un tiempo muy breve. Ambas observaciones proporcionan dos criterios para los procesos neurales subyacentes: tienen que estar integrados y mostrar, al mismo tiempo, una extraordinaria diferenciación o complejidad.⁴⁰

Para la rápida integración de los procesos neurales en diferentes áreas del cerebro, los autores proponen un mecanismo desarrollado teóricamente por Edelman en los ochenta, que ha sido ampliamente verificado por Edelman, Tononi y sus colaboradores en simulaciones a gran escala por medio de ordenador. Lleva por nombre «reentrada», y consiste en intercambios continuos de señales en paralelo entre distintas áreas del cerebro y dentro de ellas.⁴¹ Estos procesos de señales paralelas tienen aquí el mismo papel que el bloqueo en fase en el modelo de Varela. De hecho, del mismo modo que Varela habla de asambleas celulares que se «adhieren» por medio del bloqueo en fase, Tononi y Edelman se refieren a la «vinculación» dinámica de grupos de células nerviosas a través del proceso de reentrada.

Según Tononi y Edelman, la experiencia consciente surge cuando las actividades de diferentes áreas del cerebro se integran

durante breves instantes en el proceso de reentrada. Cada experiencia consciente surge de una agrupación funcional de neuronas, y juntas constituyen un proceso neural unificado o «núcleo dinámico», término elegido por los autores para transmitir a la vez la idea de integración y de patrones de actividad en cambio constante. Subrayan que el núcleo dinámico no es una «cosa» ni una «localización», sino un proceso de interacciones neurales variables.

El núcleo dinámico puede cambiar de composición con el tiempo, y un mismo grupo de neuronas puede formar en ocasiones parte de un núcleo dinámico y contribuir activamente a una experiencia consciente, y en otras no hacerlo y estar implicadas en actividades inconscientes. Es más, puesto que el núcleo dinámico es una agrupación de neuronas funcionalmente integradas, pero que no tienen por qué ser anatómicamente adyacentes, la composición del núcleo dinámico puede trascender barreras anatómicas tradicionales. Por último, se admite que la composición exacta del núcleo dinámico asociado con una determinada experiencia consciente puede variar de un individuo a otro.

A pesar de las diferencias de detalle en las dinámicas que describen, ambas hipótesis —asambleas de células resonantes y núcleos dinámicos— tienen, evidentemente, mucho en común. Ambas comparten la visión de la experiencia consciente como una propiedad emergente de procesos transitorios de integración, o sincronización, de agrupaciones de neuronas ampliamente distribuidas. Ambas ofrecen propuestas concretas y verificables para las dinámicas específicas de esos procesos, y es muy probable que puedan conducir en los próximos años a avances significativos en la formulación de una adecuada ciencia de la consciencia.

LA DIMENSIÓN SOCIAL DE LA CONSCIENCIA

Como seres humanos no sólo experimentamos los estados integrados de la consciencia primaria, sino que también pensamos y reflexionamos, nos comunicamos por medio del lenguaje

simbólico, emitimos juicios de valor, tenemos creencias y actuamos intencionadamente guiados por nuestra consciencia de nosotros mismos y por la experiencia de nuestra libertad personal. Cualquier teoría futura de la consciencia tendrá que explicar cómo de unos procesos cognitivos comunes a la totalidad de los organismos vivos surgen esas características bien conocidas de la mente humana.

Como ya he mencionado anteriormente, el «mundo interno» de nuestra consciencia reflexiva aparece en la evolución de la mano del lenguaje y de la realidad social,⁴² lo cual significa que la consciencia humana no es un fenómeno únicamente biológico, sino también social. Esta dimensión social de la consciencia reflexiva es a menudo ignorada por científicos y filósofos. Como señala el científico de la cognición Rafael Núñez, la práctica totalidad de las teorías actuales de la cognición asumen implícitamente que cuerpo y mente del individuo constituyen la unión apropiada para el análisis.⁴³ Esta tendencia se ha visto reforzada por las nuevas tecnologías para el estudio de las funciones cerebrales, que invitan a los científicos a analizar cerebros aislados y desechan las continuas interacciones de esos cerebros con otros cuerpos y otros cerebros en el seno de comunidades de organismos. Estos procesos interactivos son, sin embargo, cruciales para la comprensión del nivel de abstracción cognitiva característico de la consciencia reflexiva.

Humberto Maturana fue uno de los primeros científicos en establecer, de forma sistemática, el vínculo entre la biología de la consciencia humana y el lenguaje.⁴⁴ Lo hizo analizando este último mediante un cuidadoso análisis de la comunicación, dentro del marco de la teoría de Santiago. Según Maturana, la comunicación no consiste en la transmisión de información, sino más bien en la coordinación del comportamiento entre organismos vivos, a través del mutuo acoplamiento estructural.⁴⁵ En esas interacciones recurrentes los organismos vivos cambian juntos gracias a su recíproca activación de cambios estructurales. Esa coordinación mutua constituye la característica clave de la comunicación en todos los organismos vivos, tengan sistema

nervioso o no, y se vuelve cada vez más sutil y compleja a medida que aumenta la complejidad del sistema nervioso del organismo.

El lenguaje nace cuando se alcanza un nivel de abstracción en el que hay comunicación acerca de la comunicación. En otras palabras, cuando hay una coordinación de las coordinaciones de comportamiento. Por ejemplo (como explicó Maturana en un seminario), llamar a un taxi que está al otro lado de la calle con un gesto de la mano, con lo que se consigue captar la atención del taxista, es una coordinación de comportamiento. Si luego haces un círculo con el índice, para indicarle que dé la vuelta, eso coordina la coordinación, y surge así el primer nivel de comunicación en el lenguaje. El círculo se ha convertido en un símbolo, que representa tu imagen mental de la trayectoria del taxi. Este pequeño ejemplo ilustra un punto importante: el lenguaje es un sistema de comunicación simbólica. Sus símbolos –palabras, gestos y otros signos– sirven como indicadores para la coordinación lingüística de acciones, lo cual, a su vez, crea la noción de objetos, y, por consiguiente, esos símbolos acaban asociándose con nuestras imágenes mentales de esos objetos.

Tan pronto como las palabras y los objetos son creados por medio de la coordinación de las coordinaciones de comportamiento, se convierten en la base de futuras coordinaciones, lo cual crea una serie de niveles recurrentes de comunicación lingüística.⁴⁶ Al distinguir objetos, creamos conceptos abstractos para denotar sus propiedades y las relaciones entre ellos. Según Maturana, los procesos de observación consisten, precisamente, en estas distinciones de distinciones; luego aparece el observador cuando distinguimos entre observaciones, y, finalmente, surge la consciencia de sí mismo como observación del observador cuando utilizamos la noción de objeto y sus conceptos abstractos asociados para describirnos a nosotros. Nuestro ámbito lingüístico se expande así hasta dar cabida a la consciencia reflexiva. En cada uno de esos niveles recurrentes se van creando palabras y objetos cuya distinción oscurece luego las coordinaciones que coordinan.

Maturana subraya que el fenómeno del lenguaje no ocurre en el cerebro, sino en un flujo continuo de coordinaciones de coordinaciones de comportamiento. Tiene lugar, según él, «en el flujo de interacciones y relaciones implícito en la vida en comunidad».⁴⁷ Como humanos, existimos en el lenguaje y tejemos continuamente la red lingüística en la que estamos inmersos. Coordinamos nuestro comportamiento a través del lenguaje, y juntos en él alumbramos nuestro mundo. «El mundo que todos ven», señalan Maturana y Varela, «no es *el* mundo, sino *un* mundo que alumbramos junto con los demás.»⁴⁸ Este mundo humano incluye, ciertamente, nuestro mundo interno de pensamiento abstracto, conceptos, creencias, imágenes mentales, intenciones y consciencia de sí mismo. En toda conversación humana nuestros conceptos e ideas, nuestras emociones y nuestros movimientos corporales quedan íntimamente entrelazados en una compleja coreografía de coordinación de comportamiento.

CONVERSACIONES CON CHIMPANCÉS

La teoría de la consciencia de Maturana establece una serie de vínculos fundamentales entre autoconsciencia, pensamiento conceptual y lenguaje simbólico. Sobre la base de esta teoría, y en el espíritu de la neurofenomenología, podemos ahora preguntarnos: ¿cuál es la neurofisiología que subyace en la emergencia del lenguaje humano? ¿Cómo conseguimos, en nuestra evolución humana, desarrollar esos extraordinarios niveles de abstracción característicos de nuestro pensamiento y de nuestro lenguaje? Las respuestas a estas preguntas distan mucho todavía de ser definitivas, pero en las dos últimas décadas ha habido algunos avances capitales, que nos obligan a revisar numerosas presuposiciones científicas y filosóficas largo tiempo mantenidas.

Varias décadas de investigación de la comunicación con chimpancés mediante un lenguaje gestual, sugieren una forma de pensar radicalmente nueva acerca del lenguaje humano. El

psicólogo Roger Fouts, uno de los pioneros en ese campo de investigación, ha publicado un fascinante informe sobre su innovador trabajo en su libro *Next of Kin*.⁴⁹ Fouts no tan sólo narra la fascinante historia de sus experiencias personales en extensos diálogos entre humanos y simios, sino que utiliza también las nuevas ideas fruto de esas experiencias para proponer algunas estimulantes especulaciones sobre los orígenes evolutivos del lenguaje humano.

Investigaciones recientes sobre el ADN demuestran que entre humanos y chimpancés media tan sólo un 1,6 por ciento de diferencia genética. De hecho, los chimpancés están más emparentados con los humanos que con los gorilas o los orangutanes. Como explica Fouts: «Nuestro esqueleto es una versión erguida del esqueleto del chimpancé; nuestro cerebro es una versión ampliada del cerebro del chimpancé; nuestros órganos vocales son una innovación de los del chimpancé.»⁵⁰ Por añadidura, es bien sabido que gran parte del repertorio facial de los chimpancés es parecido al nuestro.

La evidencia genética de que disponemos hoy día indica claramente que humanos y chimpancés comparten un antepasado común del que los gorilas no participan. Si clasificamos a los chimpancés como grandes simios, también nosotros deberíamos clasificarnos así. De hecho, cualquier categoría de simios carece de sentido si no incluye a los humanos. El Smithsonian Institute ya ha modificado, en consecuencia, su esquema de clasificación. En la edición más reciente de su publicación *Mammal Species of the World* los miembros de la gran familia de los simios han sido trasladados a la familia de los homínidos, reservada anteriormente en exclusiva para los humanos.⁵¹

La similitud entre humanos y chimpancés no se reduce a la anatomía, sino que se extiende a las características sociales y culturales. Al igual que nosotros, los chimpancés son criaturas sociales. Cuando están en cautividad, lo que más los hace sufrir es la soledad y el aburrimiento. En libertad disfrutan con los cambios, se alimentan de diferentes árboles frutales durante el día, se hacen cada noche un nuevo lecho y hacen vida social

con otros miembros de su comunidad en sus periplos por la selva.

Y, lo que es más, los antropólogos se quedaron pasmados al descubrir que también los chimpancés tienen diferentes culturas. Desde que Jane Goodall descubrió a finales de los años cincuenta que los chimpancés en libertad construyen y utilizan herramientas, observaciones extensivas han demostrado que las comunidades de chimpancés tienen sus propias culturas cazadoras-recolectoras, en las que los jóvenes aprenden de sus madres nuevas habilidades mediante una combinación de imitación y guía.⁵² Algunos de los martillos y yunques que utilizan para romper nueces son idénticos a los de nuestros antepasados homínidos. Al igual que entre éstos, también el estilo de fabricación de herramientas difiere según las comunidades de chimpancés.

Los antropólogos han documentado asimismo un amplio uso de plantas medicinales entre los chimpancés. Algunos científicos opinan que podría haber varias docenas de culturas distintas de chimpancés repartidas por el territorio africano. Por si fuera poco, los chimpancés cuidan los vínculos familiares, lloran la muerte de sus madres y adoptan a los huérfanos, luchan por el poder y guerrean. Resumiendo, parece haber tanta similitud social y cultural en la evolución de humanos y chimpancés como la hay en sus anatomías.

Muy bien. Pero ¿qué pasa entonces con la cognición y el lenguaje? Durante mucho tiempo, los científicos dieron por sentado que la comunicación de los chimpancés no tenía nada que ver con la de los humanos, puesto que los gruñidos y los chillidos de los primeros no se parecían en nada al habla de los segundos. Sin embargo, como argumenta elocuentemente Roger Fouts, estos científicos centraban su atención en un canal de comunicación equivocado.⁵³ Cuidadas observaciones de chimpancés en libertad han demostrado que utilizan las manos para muchas otras cosas, además de fabricar herramientas. Se comunican entre sí de forma nunca antes imaginada: gesticulan para pedir comida, buscar seguridad y dar ánimos. Tienen ges-

tos específicos para decir «Ven conmigo», «¿Puedo pasar?» o «Bienvenido». Más sorprendentemente aún, algunos de estos gestos difieren de una comunidad a otra.

Esas observaciones fueron espectacularmente confirmadas por los hallazgos de varios equipos de psicólogos que se dedicaron durante años a criar a chimpancés en su casa igual que si fueran niños y se comunicaban con ellos mediante el lenguaje gestual estadounidense, el *american sign language* (ASL). Fouts subraya que, para apreciar la importancia de esta investigación, es necesario recordar que el ASL no es un sistema artificial inventado para los sordos por personas dotadas de oído, sino que existe desde hace más de ciento cincuenta años y tiene sus raíces en varios lenguajes gestuales europeos, desarrollados por los propios sordos a lo largo de los siglos.

Al igual que los lenguajes hablados, el ASL es sumamente flexible. Sus elementos constitutivos –configuraciones, posiciones y movimientos de las manos– pueden ser combinados para formar un número infinito de signos, equivalentes a las palabras. El ASL tiene sus propias reglas para la organización de los gestos en frases, con una gramática compleja e ingeniosa, muy distinta de la de cualquier otro lenguaje.⁵⁴

En esos estudios cruzados con chimpancés las crías no fueron tratadas como sujetos pasivos de laboratorio, sino como primates dotados de una poderosa necesidad de aprender y comunicarse. Se esperaba de ellas no tan sólo que adquirieran un vocabulario y una gramática del ASL rudimentarios, sino también que utilizaran ese lenguaje para formular preguntas, comentar sus propias experiencias e iniciar conversaciones. En otras palabras, los científicos aspiraban a establecer una genuina comunicación mutua con los simios. Y eso es lo que sucedió.

El primero y más famoso «hijo adoptivo» de Roger Fouts fue una joven chimpancé llamada Washoe, que a los cuatro años de edad utilizaba el ASL al nivel de un niño de dos o tres años. Como cualquier correpasillos humano, Washoe saludaba a menudo a sus «padres» con una retahíla de mensajes –«Roger date prisa», «Ven, abraza», «Dame comida», «Dame ropa», «Sa-

lir por favor», «Abre puerta», y, como cualquier niña pequeña, hablaba con sus juguetes y sus muñecas, e incluso consigo misma. Según Fouts: «La espontánea "charla manual" de Washoe constituía la prueba más evidente de que empleaba el lenguaje del mismo modo que cualquier niño [...] El modo como utilizaba sus manos, igual que lo haría cualquier niño sordo sociable, en ocasiones en las más inesperadas circunstancias, hizo que más de un escéptico tuviera que reconsiderar sus arraigadas presuposiciones de que los animales no pueden pensar ni hablar.»⁵⁵

Cuando Washoe se convirtió en un simio adulto, enseñó también a su hijo adoptivo a comunicarse por señas, y más tarde, cuando ambos convivieron con otros tres chimpancés de edades diversas, formaron una familia compleja y cohesionada, en la que el ASL floreció de forma natural. Roger Fouts y su esposa y colaboradora, Deborah Harris Fouts, grabaron en vídeo muchas horas de animadas conversaciones entre chimpancés. Esas cintas muestran a los miembros de la familia de Washoe comunicándose alegremente por señas mientras comparten una manta, juegan, desayunan o se preparan para dormir. Según Fouts: «Los chimpancés se comunicaban por señas incluso en medio de riñas familiares en las que todos gritaban, lo cual era la prueba más clara de que el lenguaje gestual se había convertido en parte integrante de su vida mental y emocional.» Fouts comenta también que las conversaciones de los chimpancés eran tan claras, que expertos en ASL independientes estuvieron de acuerdo, nueve de cada diez veces, en el significado de esas conversaciones filmadas.⁵⁶

LOS ORÍGENES DEL LENGUAJE HUMANO

Esos diálogos, sin precedentes, entre humanos y chimpancés han abierto caminos que nadie hubiera podido imaginar para la comprensión de las capacidades cognitivas de los chimpancés; esos caminos, además, han arrojado nueva luz sobre los orígenes del lenguaje humano. Como documenta Fouts con

sumo detalle, su trabajo con chimpancés a lo largo de varias décadas ha demostrado que éstos pueden utilizar símbolos abstractos y metáforas, tienen cierta comprensión de las clasificaciones y comprenden una gramática simple. También pueden usar sintaxis —es decir, combinar señas de tal modo que se transmita un significado— y formar nuevas combinaciones de gestos para inventarse palabras.

Estos sorprendentes descubrimientos llevaron a Roger Fouts a revivir una teoría del lenguaje propuesta por el antropólogo Gordon Hewes a principios de los setenta.⁵⁷ Hewes propuso que los primeros homínidos se comunicaban con las manos y desarrollaron movimientos manuales cada vez más precisos, tanto para el lenguaje gestual como para fabricar herramientas. El habla habría evolucionado más adelante, a partir de la capacidad para la «sintaxis», que permite seguir secuencias de configuraciones muy complejas en la confección de herramientas, en la gesticulación y en la formación de palabras.

Estas ideas presentan implicaciones muy interesantes para la comprensión de la tecnología. Si el lenguaje procede de las señas y éstas evolucionaron al mismo tiempo que la confección de herramientas (la forma más simple de tecnología), cabría suponer que la tecnología es parte esencial de la naturaleza humana, inseparable de la evolución del lenguaje y la consciencia. Ello significaría que, desde los mismos albores de nuestra especie, naturaleza humana y tecnología han estado indisolublemente unidas.

Por supuesto, la idea de que el lenguaje podría haberse originado en los gestos no es nueva. Durante siglos la gente ha observado que los bebés gesticulan mucho antes de comenzar a hablar, así como que los gestos constituyen un medio universal de comunicación, al que siempre pueden recurrir las personas que no hablan un mismo idioma. El problema científico consistía en comprender cómo pudo el habla evolucionar físicamente partiendo de los gestos. ¿Cómo consiguieron nuestros antepasados homínidos superar el abismo entre gestos con las manos y torrentes de palabras con la boca?

Este enigma fue resuelto por la neuróloga Doreen Kimura cuando descubrió que el habla y los movimientos manuales precisos parecen estar controlados por una misma región motriz del cerebro.⁵⁸ Cuando Fouts supo del descubrimiento de Kimura, se percató de que, en cierto sentido, el lenguaje gestual y el hablado son otras tantas modalidades de gesto. En sus propias palabras: «El lenguaje por señas utiliza gestos de las manos, y el lenguaje hablado usa gestos con la lengua. Ésta ejecuta movimientos precisos y se detiene en lugares específicos de la boca para emitir determinados sonidos, mientras que las manos y los dedos se detienen en lugares específicos del cuerpo para producir señas.»⁵⁹

Esta constatación permitió a Fouts formular su teoría básica del origen evolutivo del lenguaje hablado. Nuestros antepasados homínidos debieron comunicarse con gestos de las manos, como sus primos simios. Una vez que comenzaron a andar erguidos, sus manos quedaron libres para desarrollar gestos más complejos y perfeccionados. Con el tiempo, su gramática gestual se fue haciendo cada vez más complicada, y los gestos, por su parte, evolucionaron desde movimientos groseros a otros más precisos. A la larga, los movimientos precisos de las manos habrían dado lugar a movimientos precisos de la lengua, y, de este modo, la evolución de los gestos habría dado dos importantes dividendos: la capacidad de fabricar mejores herramientas y la de emitir sonidos vocales más complejos.⁶⁰

Esta teoría quedó espectacularmente confirmada cuando Roger Fouts comenzó a trabajar con niños autistas.⁶¹ Su trabajo con los chimpancés y el lenguaje por señas le había hecho darse cuenta de que, cuando los médicos dicen que los niños autistas tienen «problemas de lenguaje», quieren decir, en realidad, que los tienen con el lenguaje *hablado*. De modo que introdujo el lenguaje por señas como canal lingüístico alternativo, del mismo modo que había hecho con los chimpancés. Tras un par de meses de practicar con las señas, los niños autistas rompieron su aislamiento y su comportamiento cambió de modo increíble.

Más extraordinario aún, y en principio totalmente inesperado, fue el hecho de que esos niños autistas comenzaran a hablar tras varias semanas de comunicarse por señas. Al parecer, el lenguaje por señas había activado su capacidad para el habla. La habilidad necesaria para realizar señas precisas pudo ser transferida a la capacidad de articular sonidos porque, como hemos visto, ambas están controladas por las mismas estructuras cerebrales. «Es posible que, en cuestión de semanas», dice Fouts, «esos niños hubieran recorrido el camino evolutivo de nuestros antepasados, un viaje de seis millones de años que los condujo de los gestos simiescos al habla humana moderna.»⁶²

Fouts especula que los humanos comenzaron a pasar al habla hace unos doscientos mil años, con la evolución de lo que se conoce como «formas arcaicas» de *Homo sapiens*. Esa época coincide con las primeras elaboraciones de herramientas de piedra especializadas, lo que requería una habilidad manual considerable. Probablemente, los primitivos humanos que produjeron esas herramientas poseían ya los mecanismos neurales que los capacitarían para articular palabras.

La introducción de los sonidos articulados en la comunicación de nuestros antepasados les acarrió ventajas inmediatas. Quienes podían comunicarse con la voz podían seguir haciéndolo aunque tuvieran las manos ocupadas, o aunque el interlocutor no estuviera de frente. Con el tiempo, esas ventajas evolutivas acabarían por estimular los cambios anatómicos necesarios para el habla plenamente desarrollada. A lo largo de decenas de millares de años, a medida que evolucionaban sus órganos vocales, los humanos siguieron comunicándose mediante combinaciones de gestos precisos y sonidos hasta que llegó el momento en que el lenguaje hablado superó a las señas y se convirtió en la modalidad dominante de comunicación humana. Sin embargo, aún utilizamos gestos cuando el lenguaje hablado no nos sirve o no nos basta. «El gesto, la forma más antigua de comunicación de nuestra especie», señala Fouts, «sigue funcionando como "segundo lenguaje" de todas las culturas.»⁶³

Así pues, según Roger Fouts, el lenguaje estaba inicialmente limitado a los gestos, a partir de los cuales fue evolucionando junto con la consciencia humana. Esta teoría concuerda con el reciente descubrimiento realizado por científicos de la cognición de que el pensamiento conceptual, en su totalidad, está encarnado físicamente en el cuerpo y el cerebro.

Cuando los científicos de la cognición dicen que la mente está encarnada, quieren decir mucho más que el hecho evidente de que, para pensar, necesitamos un cerebro. Estudios recientes en el nuevo campo de la lingüística cognitiva indican de modo concluyente que la razón humana no trasciende el cuerpo, como ha sostenido buena parte de la filosofía occidental, sino que está decisivamente conformada por nuestra naturaleza física y nuestra experiencia corporal. Éste es el sentido en que se encarna la mente. La estructura intrínseca de la razón surge de nuestro cuerpo y de nuestro cerebro.⁶⁴

Las evidencias de esa encarnación de la mente, así como las profundas implicaciones de semejante concepto, están lúcida-mente presentadas por George Lakoff y Mark Johnson, dos destacados lingüistas de la cognición, en su libro titulado *Philosophy in the Flesh*.⁶⁵ Esas evidencias se basan, ante todo, en el descubrimiento de que la mayor parte de nuestro pensamiento es inconsciente y opera a un nivel inaccesible a la percepción consciente ordinaria. Este «inconsciente cognitivo» incluye no tan sólo nuestras operaciones cognitivas automáticas, sino también nuestro conocimiento tácito y nuestras creencias. Sin que nos demos cuenta de ello, el inconsciente cognitivo moldea y estructura nuestro pensamiento consciente. Éste se ha convertido en un importante campo de estudio en la ciencia de la cognición, lo que ha conducido a la aparición de ideas radicalmente nuevas acerca del modo como se forman los conceptos y los procesos de pensamiento.

En el momento presente, la neurofisiología detallada de la formación de conceptos abstractos todavía no está clara. No obs-

tante, los científicos de la cognición han comenzado a comprender un aspecto crucial de ese proceso. En palabras de Lakoff y Johnson: «Los mismos mecanismos neurales y cognitivos que nos permiten percibir y desenvolvernos crean nuestras estructuras conceptuales y nuestras modalidades de razonamiento.»⁶⁶

Esta nueva comprensión del pensamiento humano comenzó en los ochenta, con varios estudios sobre la naturaleza de las categorías conceptuales.⁶⁷ El proceso de clasificar una serie de experiencias es parte fundamental de la cognición, a cualquier nivel de vida. Los microorganismos clasifican los elementos químicos en alimento y no alimento, entre aquello hacia lo que hay que moverse o hacia lo que no vale la pena hacerlo. De forma parecida, los animales clasifican alimentos, sonidos que significan peligro, miembros de su misma especie, señales sexuales, etcétera. Como dirían Maturana y Varela, el organismo vivo alumbró un mundo estableciendo distinciones.

El modo como clasifican los organismos depende de su aparato sensorial y su sistema locomotor, es decir, de sus características corporales. Eso es cierto no tan sólo para los animales, las plantas y los microorganismos, sino también para los seres humanos, como recientemente han descubierto los científicos de la cognición. Aunque algunas de nuestras categorías sean el resultado del razonamiento consciente, en su mayor parte se forman de manera automática e inconsciente, como resultado de la naturaleza específica de nuestro cuerpo y de nuestro cerebro.

Eso es algo que se puede ilustrar fácilmente con el ejemplo de los colores. Estudios extensivos sobre la percepción cromática, realizados a lo largo de varias décadas, han dejado fuera de duda que, con independencia del proceso de percepción, en el mundo exterior no hay colores. Nuestra experiencia cromática es creada por las longitudes de onda de la luz reflejada, en interacción con los conos de nuestra retina y con el circuito nervioso conectado a ellos. De hecho, estudios pormenorizados han demostrado que toda la estructura de nuestras categorías de colores (cantidad de colores, matices, etcétera) surge de nuestras estructuras neurales.⁶⁸

Mientras que las categorías cromáticas se basan en nuestra neurofisiología, otras clases de categorías se forman sobre la base de nuestra experiencia corporal. Esto es particularmente importante para las relaciones espaciales, que se cuentan entre nuestras categorías más fundamentales. Como explican Lakoff y Johnson, cuando percibimos «un gato delante de un árbol», esta relación espacial no existe objetivamente en el mundo, sino que es una proyección de nuestra experiencia corporal. Tenemos un cuerpo con un delante y un detrás, distinción que proyectamos a los demás objetos. Así pues, «nuestro cuerpo define una serie de relaciones espaciales fundamentales, que utilizamos no tan sólo para orientarnos, sino también para percibir la relación entre diversos objetos».⁶⁹

Como seres humanos no tan sólo clasificamos las variedades de nuestra experiencia, sino que utilizamos también conceptos abstractos para caracterizar nuestras experiencias y razonar sobre ellas. Al nivel de la cognición humana las categorías son siempre conceptuales, inseparables de sus correspondientes conceptos abstractos, y, puesto que nuestras categorías surgen de nuestras estructuras neurales y de nuestra experiencia corporal, de ellas surgen también nuestros conceptos abstractos.

Algunos de nuestros conceptos encarnados físicamente constituyen también la base de determinadas formas de razonar, lo cual significa que el modo como pensamos tiene también su encarnación física. Por ejemplo, al distinguir entre «fuera» y «dentro», tendemos a visualizar esta relación espacial en términos de un continente con un interior, un perímetro y un exterior. Esta imagen mental, basada en nuestro cuerpo como contenedor, se convierte en la base de cierta clase de razonamiento.⁷⁰ Supongamos que colocamos una copa dentro de un bol y una cereza dentro de la copa. Sabríamos de inmediato, simplemente mirando, que la cereza, puesto que está dentro de la copa, está también dentro del bol.

Esta inferencia corresponde a un argumento o «silogismo» bien conocido en la lógica clásica aristotélica. En su expresión más conocida, es como sigue: «Todos los hombres son mortales.

Sócrates es hombre. Luego Sócrates es mortal.» El argumento parece concluyente, puesto que, como la cereza de nuestro ejemplo, Sócrates está dentro del «contenedor» (categoría) de los hombres y éstos están dentro del «contenedor» (categoría) de los mortales. Proyectamos la imagen mental de los contenedores hacia categorías abstractas, y luego utilizamos nuestra experiencia corporal para razonar sobre ellas.

En otras palabras, el silogismo aristotélico clásico no es una forma de razonamiento sin sustrato físico, sino que surge de nuestra experiencia corporal. Lakoff y Johnson argumentan que eso es igualmente cierto para muchas otras formas de razonamiento. Las estructuras de nuestros cerebros y de nuestros cuerpos determinan los conceptos que podemos crear y la clase de razonamientos en los que nos podemos implicar.

Cuando proyectamos la imagen mental de un contenedor en el concepto abstracto de una categoría, la utilizamos como metáfora. Este proceso de proyección metafórica constituye un elemento crucial en la formación de pensamiento abstracto. El descubrimiento de que la mayor parte del pensamiento humano es metafórico ha constituido uno de los mayores avances de la ciencia de la cognición.⁷¹ Las metáforas nos permiten extender nuestros conceptos básicamente corporales a ámbitos teóricos abstractos. Cuando decimos «No consigo captar esa idea», o «Se me ha ido de la cabeza», usamos nuestra experiencia física de captar un objeto para razonar sobre la comprensión de una idea. Del mismo modo, cuando hablamos de un «caluroso recibimiento» o de un «gran día», proyectamos experiencias sensoriales y corporales a ámbitos abstractos.

Acabamos de ver algunos ejemplos de metáforas primarias, los elementos fundamentales del pensamiento metafórico. Los lingüistas de la cognición especulan que adquirimos nuestras metáforas primarias, de forma automática e inconsciente, en la primera infancia.⁷² Para la mayoría de los niños la experiencia del afecto va típicamente asociada con la del calor que proporciona ser tenido en brazos. Se construyen así asociaciones entre ambos dominios de experiencia y se establecen las corres-

pondientes conexiones entre redes neurales. En años posteriores, esas asociaciones siguen presentes como metáforas y hablamos de una «cálida sonrisa» o una «calurosa amistad».

Nuestro pensamiento y nuestro lenguaje contienen centenares de metáforas primarias, la mayoría de las cuales utilizamos sin ser conscientes de ello. Puesto que se originaron en experiencias corporales fundamentales, tienden a ser iguales en todos los idiomas. En nuestros procesos de pensamiento abstracto combinamos metáforas primarias con otras más complejas, lo cual nos permite emplear un rico imaginario e ingeniosas estructuras conceptuales para reflexionar sobre nuestra experiencia. Por ejemplo, pensar en la vida como un viaje nos permite utilizar nuestros amplios conocimientos de viajes mientras reflexionamos sobre cómo llevar una vida dirigida a conseguir los fines que nos proponemos.⁷³

LA NATURALEZA HUMANA

Durante las dos últimas décadas del siglo XX los científicos de la cognición realizaron tres descubrimientos capitales. Los resumen así Lakoff y Johnson: «La mente está inherentemente encarnada en el cuerpo. El pensamiento es en su mayor parte inconsciente. Los conceptos abstractos son en gran medida metafóricos.»⁷⁴ Cuando estas ideas se aceptan ampliamente y se integran en una teoría coherente de la cognición humana, obligan a reexaminar muchos de los principales axiomas de la filosofía occidental a la luz de la ciencia cognitiva.

El argumento principal consiste en que la filosofía debería poder responder a la necesidad humana fundamental de conocer, de saber «quiénes somos, cómo experimentamos el mundo y cómo deberíamos vivir». Conocer incluye comprender cómo pensamos y cómo expresamos esos pensamientos mediante el lenguaje, y es precisamente ahí donde la ciencia de la cognición puede aportar contribuciones importantes a la filosofía. «Puesto que todo cuanto pensamos y decimos depende

del funcionamiento de nuestras mentes encarnadas», argumentan Johnson y Lakoff, «la ciencia de la cognición constituye uno de nuestros recursos más profundos para el autoconocimiento.»⁷⁵

Los autores se plantean un diálogo entre filosofía y ciencia cognitiva, en el que ambas disciplinas se complementan y se enriquecen mutuamente. Los científicos necesitan de la filosofía para comprender hasta qué punto las presuposiciones filosóficas ocultas influyen en sus teorías. Como nos recuerda John Searle: «El coste de despreciar la filosofía consiste en cometer errores filosóficos.»⁷⁶ Los filósofos, por su parte, no pueden proponer teorías serias sobre la naturaleza del lenguaje, de la mente y de la consciencia, a menos que tengan en cuenta los notables avances recientes en la comprensión de la cognición humana.

En mi opinión, la principal aportación de esos avances ha sido la gradual, pero firme, superación de la división cartesiana entre mente y materia, que ha empobrecido a la ciencia y la filosofía de Occidente durante más de trescientos años. La teoría de Santiago de la cognición ha demostrado que, en cualquier nivel de vida, mente y materia, proceso y estructura, están inseparablemente conectados.

Investigaciones recientes en ciencia de la cognición han confirmado y mejorado este punto de vista al demostrar cómo evolucionó el proceso de cognición, junto con las correspondientes estructuras biológicas, hacia formas de creciente complejidad. Al desarrollarse la capacidad para controlar movimientos precisos de las manos y de la lengua pudieron evolucionar en los primeros humanos el lenguaje, la consciencia reflexiva y el pensamiento conceptual, como parte de procesos de comunicación cada vez más complejos.

Son todas ellas manifestaciones del proceso de cognición, y en cada nuevo nivel implican a sus correspondientes estructuras corporales y neurales. Como demuestran los resultados de las más recientes investigaciones en lingüística de la cognición, la mente humana, incluso en sus manifestaciones más abstractas,

no está separada del cuerpo, sino que surge de él y está conformada por él.

La visión unificada pos cartesiana de la mente, la materia y la vida implica, asimismo, una radical reevaluación de la relación entre humanos y animales. En la mayor parte de la filosofía occidental la capacidad de razonamiento ha sido considerada un atributo exclusivamente humano, que nos distinguía de los animales. Los estudios sobre comunicación realizados con chimpancés han demostrado lo erróneo de esa creencia del modo más espectacular al dejar bien claro que las vidas cognitivas y emocionales de los animales y de los humanos difieren tan sólo en grado y que la vida es un gran continuo en el que las diferencias entre especies son graduales y evolutivas. Los lingüistas de la cognición han confirmado plenamente esta noción de la naturaleza humana. En palabras de Lakoff y Johnson: «Más que trascenderla, la razón, incluso en su forma más abstracta, utiliza nuestra naturaleza animal. La razón no es, por consiguiente, una esencia que nos separe de los demás animales, sino que nos sitúa en un continuo con ellos.»⁷⁷

LA DIMENSIÓN ESPIRITUAL

El escenario de la evolución de la vida que hemos analizado en las páginas precedentes comienza con la formación de las primeras burbujas constituidas por membranas en los océanos primigenios. Esas gotitas diminutas se formaron espontáneamente en un entorno adecuado de agua jabonosa, siguiendo las leyes fundamentales de la física y de la química. Una vez formadas, comenzó a desarrollarse en su espacio interno una compleja red química, que les proporcionó el potencial para crecer y evolucionar hacia estructuras autorreplicantes, mucho más complejas. Cuando entraron en juego los catalizadores, la complejidad molecular se incrementó rápidamente, y, con el tiempo, surgió la vida a partir de esas protocélulas mediante la evolución de las proteínas, de los ácidos nucleicos y del código genético.

Todo ello hizo que surgiera un antepasado universal –la primera célula bacteriana–, del cual descendería toda la subsiguiente vida sobre el planeta. Los descendientes de las primeras células vivas se expandieron por la Tierra hasta tejer una red bacteriana planetaria y ocupar gradualmente todos los nichos ecológicos. Impulsada por la creatividad inherente a todo sistema vivo, esta red planetaria de vida se expandió por medio de mutaciones, intercambio de genes y simbiosis produciendo formas de vida de complejidad y diversidad siempre crecientes.

En este majestuoso despliegue de la vida, todos los organismos respondían continuamente con cambios estructurales a las influencias del entorno, y lo hacían de forma autónoma según sus respectivas naturalezas. Desde los albores de la vida las interacciones de esos organismos vivos, tanto entre sí como con el medio no vivo, fueron interacciones cognitivas. A medida que sus estructuras iban creciendo en complejidad, lo hacían también sus procesos cognitivos, lo que acabaría por conducir a la percepción consciente, el lenguaje y el pensamiento conceptual.

Al contemplar este escenario –desde la formación de vesículas grasas hasta la emergencia de la consciencia– podría parecer que en la vida no hay más que moléculas, por lo que surgen de forma natural estas preguntas: ¿Y qué hay de la dimensión espiritual de la vida? ¿Queda espacio para el espíritu humano en esa nueva visión?

El concepto de que, en última instancia, la vida no es más que una cuestión de moléculas es propuesto a menudo por los biólogos moleculares. En mi opinión, es importante señalar que se trata de una perspectiva peligrosamente reduccionista. La nueva comprensión de la vida es sistémica, lo cual significa que se basa no tan sólo en el análisis de las estructuras moleculares, sino también en el de los patrones de relación entre esas estructuras y los procesos específicos subyacentes en su formación. Como hemos visto, la característica definitoria de un sistema vivo no consiste en la presencia de determinadas macro-

moléculas, sino en la existencia de una red autogenética de procesos metabólicos.⁷⁸

Los procesos de la vida incluyen, ante todo, la emergencia espontánea de nuevo orden, característica que constituye la base de la creatividad inherente a cualquier forma de vida. Es más, los procesos vitales están vinculados con la dimensión cognitiva de la vida, y el surgimiento de nuevo orden incluye la emergencia del lenguaje y de la consciencia.

¿Dónde encaja el espíritu humano en este escenario? Para responder a esta pregunta es necesario revisar antes el significado original de la palabra «espíritu». Como ya hemos visto, el latín *spiritus* significa «soplo, aliento», como sucede con *anima*, con el griego *psyché* y el sánscrito *atman*.⁷⁹ El sentido corriente de estos términos clave nos indica que, en numerosas tradiciones filosóficas y religiosas antiguas, tanto de Oriente como de Occidente, el significado original de la palabra «espíritu» no es otro que el de «soplo de vida».

Puesto que la respiración constituye, sin duda, un aspecto fundamental del metabolismo de toda forma de vida, a excepción de las más simples, «soplo de vida» parece la metáfora perfecta para la red de procesos metabólicos que constituye la característica definitoria de los seres vivos. El espíritu —el soplo de vida— es lo que tenemos en común con todos los seres vivos. Nos nutre y nos mantiene vivos.

La espiritualidad, o vida espiritual, es considerada a menudo una manera de ser que nace de una determinada experiencia profunda de la realidad, conocida como experiencia «mística», «religiosa» o «espiritual». La literatura de todas las religiones del mundo abunda en descripciones de dicha experiencia, las cuales tienden a estar de acuerdo en que se trata de una experiencia directa y no intelectual de la realidad, con algunas características básicas independientes del contexto cultural e histórico. Un breve ensayo de David Steindl-Rast, monje benedictino, psicólogo y escritor, titulado «Spirituality as Common Sense», constituye una de las descripciones contemporáneas más bellas de la espiritualidad que se pueden encontrar.⁸⁰

Partiendo del significado original de espíritu como soplo de vida, el hermano David describe la experiencia espiritual como momentos de exaltación de la sensación de estar vivo. Nuestros momentos espirituales son los momentos en los que nos sentimos más intensamente vivos. Esta intensa sensación de estar vivos, experimentada en lo que el psicólogo humanista Abraham Maslow denominó «experiencias cumbre», implica no sólo al cuerpo, sino también a la mente. Los budistas designan esta percepción mental exacerbada con el término «iluminación», y subrayan, lo cual es muy interesante, que esa iluminación está profundamente enraizada en el cuerpo. La espiritualidad, pues, tiene siempre un sustrato corporal. En palabras del hermano David, experimentamos nuestro espíritu como «la totalidad de mente y cuerpo».

Resulta evidente que esta noción de espiritualidad es consistente con la de mente encarnada físicamente, desarrollada en la actualidad por la ciencia de la cognición. La experiencia espiritual es una experiencia de absoluta unidad de la mente y el cuerpo. Y, lo que es más, esta experiencia de unidad trasciende no sólo la separación entre mente y cuerpo, sino también la que hay entre yo y mundo. En los momentos espirituales la percepción fundamental consiste en una profunda sensación de unidad con todo, un sentido de pertenencia al universo como un todo.⁸¹

Esta sensación de unidad con el mundo natural queda plenamente confirmada por la nueva visión científica de la vida. Al comprender cómo se hunden las raíces de la vida en la física y la química básicas, cómo se inició el desarrollo de la complejidad mucho antes de la formación de las primeras células vivas y cómo ha ido evolucionando la vida durante miles de millones de años sirviéndose de los mismos patrones y procesos, nos damos cuenta de cuán inmersos estamos en la trama de la vida.

Al mirar al mundo que nos rodea, nos percatamos de que no hemos sido arrojados al caos y la aleatoriedad, sino que formamos parte de un orden superior, de la gran sinfonía de la vida. Cada molécula de nuestro cuerpo ha formado antes parte de otros cuerpos —vivos o no— y volverá a hacerlo en el futuro.

En este sentido, nuestro cuerpo nunca morirá, sino que vivirá una y otra vez porque la vida sigue. Con el resto del mundo vivo no compartimos únicamente las moléculas de la vida, sino también sus principios básicos de organización. Y puesto que nuestra mente también está encarnada físicamente, nuestros conceptos y nuestras metáforas se hallan tan inmersos en la trama de la vida como nuestros cuerpos y nuestros cerebros. Pertenece al universo, él es nuestro hogar, y este sentimiento de pertenencia puede conferir a nuestra vida un profundo sentido.

3. LA REALIDAD SOCIAL

En *The Web of Life* presenté una síntesis de las teorías recientes sobre sistemas vivos que incluía nociones de dinámica no lineal o «teoría de la complejidad», como popularmente se la conoce.¹ En los dos capítulos precedentes he sentado las bases para una revisión de esa síntesis, así como para ampliarla al ámbito social. Tal como manifiesto en el prefacio, mi objetivo consiste en desarrollar un marco unificado y sistémico para la comprensión de los fenómenos biológicos y sociales.

TRES PERSPECTIVAS DE LA VIDA

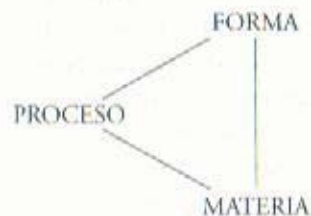
La aludida síntesis se basa en la distinción entre dos puntos de vista acerca de la naturaleza de los sistemas vivos, que denomino «perspectiva de patrón» y «perspectiva de estructura», así como en la integración de ambas en una tercera, que denomino «perspectiva de proceso». Más específicamente, defino el *patrón de organización* de un sistema vivo como la configuración de las relaciones entre sus componentes, la cual determina sus características esenciales; la *estructura* del sistema como la encarnación física de su patrón de organización, y el *proceso vital* como el proceso continuo de esa encarnación.

Opto por los términos «patrón de organización» y «estructura» para seguir manteniendo el lenguaje usual en las teorías que

forman parte de mi síntesis.² Sin embargo, habida cuenta de que la definición de «estructura» en las ciencias sociales difiere notablemente de la que tiene en las ciencias naturales, modificaré mi terminología y utilizaré los conceptos más generales de *forma* y *materia* para adaptarme a diferentes usos del término «estructura». En esta terminología de carácter más general las tres perspectivas de la naturaleza de los sistemas vivos antes mencionadas corresponden al estudio de la forma (o patrón de organización), de la materia (o estructura material) y del proceso.

Al estudiar los sistemas vivos desde la perspectiva de la forma, descubrimos que sus patrones de organización son los de una red autogenética. Desde la perspectiva de la materia, la estructura material de un sistema vivo es una estructura disipativa, es decir, un sistema abierto que opera lejos del equilibrio. Finalmente, desde la perspectiva del proceso, los sistemas vivos son sistemas cognitivos, en los que el proceso de cognición está íntimamente ligado al patrón de autopoiesis. Ésta es, de forma muy resumida, mi síntesis de la nueva comprensión científica de la vida.

En el siguiente diagrama he representado las tres perspectivas como vértices de un triángulo para subrayar su fundamental interconexión. La forma de un patrón de organización sólo es reconocible si está encarnada físicamente en un cuerpo, y en los organismos vivos esa encarnación es un proceso incesante. Así pues, cualquier comprensión plena de un fenómeno biológico deberá necesariamente incorporar estas tres perspectivas:



Tomemos como ejemplo el metabolismo de una célula, que consiste en una red (*forma*) de reacciones químicas (*proceso*)

que implica la producción de los componentes de la célula (*materia*) y que responde cognitivamente, es decir, a través de cambios estructurales autodirigidos (*proceso*), a perturbaciones del entorno. De forma parecida, el fenómeno de la emergencia es un *proceso* característico de las estructuras disipativas (*materia*) que implica numerosos bucles de retroalimentación (*forma*).

Atribuir igual importancia a esas tres perspectivas es algo que no resulta fácil para la mayoría de los científicos, debido a la persistente influencia de nuestra herencia cartesiana. Se supone que las ciencias naturales se ocupan de los fenómenos materiales, pero tan sólo una de esas tres perspectivas está relacionada con el estudio de la materia. Las otras dos tratan de relaciones, cualidades, patrones y procesos, es decir, de cuestiones inmateriales. Por supuesto, ningún científico negará la existencia de patrones y procesos, pero la mayoría piensa que el patrón es una propiedad emergente de la materia, una idea abstracta, de ella, más que una fuerza generatriz.

Centrar la atención en las estructuras materiales y en las fuerzas que las unen, así como contemplar los patrones de organización resultantes de esas fuerzas como fenómenos emergentes secundarios, ha sido muy efectivo en física y en química, pero, cuando se trata de sistemas vivos, ese planteamiento no resulta ya adecuado. El metabolismo celular, característica fundamental que diferencia a los sistemas vivos de los no vivos, no es una propiedad de la materia ni una «fuerza vital», sino un patrón específico de relaciones entre procesos químicos.³ Aunque implique relaciones entre procesos que producen componentes materiales, el patrón en red es en sí mismo inmaterial.

Los cambios estructurales de este patrón en red son entendidos como procesos cognitivos que, con el tiempo, dan lugar a la experiencia consciente y al pensamiento conceptual. Todos esos fenómenos cognitivos son inmateriales, pero tienen un sustrato físico: surgen del cuerpo y están conformados por él. Por consiguiente, aunque sus características esenciales –organización, complejidad, procesos, etcétera– sean inmateriales, la vida no está nunca dissociada de la materia.

Al tratar de extender la nueva comprensión de la vida al ámbito social, nos encontramos de inmediato enfrentados a una increíble multitud de fenómenos —normas de conducta, valores, intenciones, objetivos, estrategias, diseños, relaciones de poder...— que no tienen ningún papel en el mundo no humano, pero que son esenciales en nuestra vida social. Sin embargo, todas esas facetas de la realidad social comparten una característica básica común, que nos proporciona un vínculo natural con la visión sistémica de la vida desarrollada en las páginas precedentes.

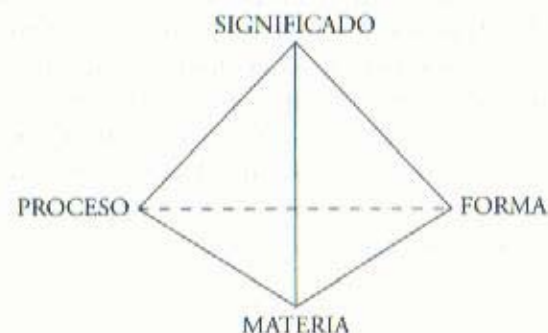
Como hemos visto, la consciencia de sí mismo emergió durante la evolución de nuestros antepasados homínidos junto con el lenguaje, el pensamiento conceptual y el mundo social de las relaciones organizadas y de la cultura. En consecuencia, la comprensión de la consciencia reflexiva está inextricablemente vinculada a la del lenguaje y su contexto social. Este argumento puede ser también expresado a la inversa: la comprensión de la realidad social está inextricablemente ligada a la de la consciencia reflexiva.

Más específicamente, nuestra capacidad para mantener imágenes mentales de objetos materiales y de acontecimientos parece condición básica para la emergencia de las características esenciales de la vida social. Mantener imágenes mentales nos permite elegir entre varias alternativas, lo cual es indispensable para formular valores y normas sociales de conducta. Como veremos más adelante, el origen de las relaciones de poder se halla en los conflictos de intereses basados en diferentes valores. Nuestras intenciones, nuestra consciencia de propósitos y de diseños, y nuestras estrategias para alcanzar objetivos previamente identificados, requieren la proyección hacia el futuro de imágenes mentales.

Nuestro mundo interno de conceptos e ideas, de imágenes y símbolos, constituye una dimensión crítica de la realidad social y forma lo que John Searle ha denominado «el carácter

mental de los fenómenos sociales». ⁴ Los científicos sociales se han referido a menudo a la dimensión «hermenéutica» para expresar las nociones de que el lenguaje humano, al ser de naturaleza simbólica, implica fundamentalmente la comunicación de significado, y de que la acción humana se origina a partir del significado que atribuimos a nuestro entorno.

De acuerdo con esta postura, postulo que la comprensión sistémica de la vida puede ser extendida al ámbito social sumando a las otras tres perspectivas de la vida la del *significado*. Utilizo el término «significado» como abreviatura del mundo interno de la consciencia reflexiva, que contiene una multitud de características interrelacionadas. Así pues, una comprensión plena de los fenómenos sociales deberá involucrar la integración de las cuatro perspectivas: forma, materia, proceso y significado.



En este diagrama he indicado de nuevo la interconexión entre estas perspectivas, a las que represento como los vértices de una figura geométrica. Al igual que en la figura precedente, las tres primeras perspectivas forman un triángulo, mientras que la perspectiva del significado queda fuera del plano de ese triángulo, para indicar que abre una nueva dimensión «interior», de modo que la figura resultante es un tetraedro.

Integrar las cuatro perspectivas significa reconocer que cada una de ellas contribuye significativamente a la comprensión del fenómeno social. Por ejemplo, veremos que la cultura es creada y sostenida por una red (*forma*) de comunicaciones (*proceso*),

que la dota de *significado*. La encarnación material de la cultura (*materia*) incluye artefactos y textos escritos, a través de los cuales el significado es transmitido de generación en generación.

Resulta interesante observar que este marco conceptual de las cuatro perspectivas interdependientes de la vida presenta algunas similitudes con los cuatro principios, o «causas», postulados por Aristóteles como fuentes interdependientes de todo fenómeno.⁵ Aristóteles distinguía entre causas externas y causas internas. Las internas son dos: materia y forma. Las externas son también dos: la eficaz, capaz de generar el fenómeno con su acción, y la final, que determina la acción de la causa eficaz y le otorga un objetivo o un propósito.

La descripción detallada que hace Aristóteles de las cuatro causas y de sus interrelaciones difiere bastante del esquema conceptual que aquí propongo.⁶ En particular, la causa final, que corresponde a la perspectiva que asocio con el significado, opera, según Aristóteles, por medio del mundo material, mientras que la ciencia de nuestros días afirma que no tiene ningún papel en los sistemas no humanos. A pesar de esas diferencias, me parece fascinante que, transcurridos más de dos milenios de filosofía, sigamos analizando la realidad desde el marco de las cuatro perspectivas identificadas por Aristóteles.

LA TEORÍA SOCIAL

Si analizamos el desarrollo de las ciencias sociales desde el siglo XIX hasta nuestros días, veremos que los principales debates entre distintas escuelas de pensamiento parecen reflejar las tensiones entre las cuatro perspectivas de la vida social: forma, materia, proceso y significado.

El pensamiento social de finales del siglo XIX estaba fuertemente influenciado por el positivismo, doctrina formulada por el filósofo Auguste Comte. Sus teorías hacían hincapié en que las ciencias sociales deben buscar leyes generales del comportamiento humano, han de basarse en la cuantificación y tienen

que rechazar las explicaciones basadas en términos de fenómenos subjetivos, como intenciones o propósitos.

Es evidente que el marco conceptual del positivismo se basaba en la física clásica. De hecho, Auguste Comte, que introdujo el término «sociología», denominó antes «física social» al estudio científico de la sociedad. Las principales escuelas de pensamiento de principios del siglo XX pueden ser consideradas intentos por liberarse del estrecho corsé positivista. De hecho, la mayoría de los teóricos sociales de aquella época se manifestaron explícitamente en contra de la epistemología positivista.⁷

Una de las herencias del positivismo durante las primeras décadas de la sociología era la atención prestada a una estrecha noción de «causalidad social», que vinculaba conceptualmente la teoría social con la física más que con las ciencias de la vida. Émile Durkheim, que, con Max Weber, está considerado uno de los principales fundadores de la sociología moderna, consideraba que «hechos sociales» como las creencias o las prácticas eran las causas de los fenómenos sociales. No obstante la clara naturaleza inmaterial de esos hechos, Durkheim insistía en que debían ser tratados como objetos materiales. Por analogía con las operaciones de las fuerzas físicas, consideraba que los hechos sociales estaban causados por otros hechos sociales.

Las ideas de Durkheim ejercieron enorme influencia, tanto sobre el estructuralismo como sobre el funcionalismo, las dos escuelas dominantes en la sociología de principios del siglo XX. Ambas escuelas de pensamiento consideraban que la tarea del científico social consiste en descubrir la realidad causal, oculta bajo la superficie de los fenómenos sociales observables. Esos esfuerzos por identificar algún fenómeno encubierto —fuerzas vitales u otros «ingredientes adicionales»— se han dado repetidamente en las ciencias de la vida cuando los científicos han tratado de explicar la emergencia de lo nuevo, característica de toda forma de vida e inexplicable en términos de relaciones lineales de causa y efecto.

Para los estructuralistas, el ámbito oculto consiste en «estructuras sociales» subyacentes. Aunque los primeros estructu-

ralistas trataron esas estructuras sociales como objetos materiales, también las entendían como todos integrados y utilizaban el término «estructura» de forma parecida al modo como los primeros pensadores sistémicos hablaban de «patrón de organización».

Por el contrario, los funcionalistas postulaban la existencia de una racionalidad social subyacente, que mueve al individuo a actuar de acuerdo con las «funciones sociales» de sus acciones, es decir, a obrar de tal modo que los resultados de sus acciones satisfagan necesidades sociales. Durkheim insistía en que cualquier explicación completa de los fenómenos sociales debe combinar ambos análisis (causal y funcional), y subrayaba la necesidad de distinguir entre funciones e intenciones. Parece que, de algún modo, trataba de tomar en consideración las intenciones y los propósitos (la perspectiva del *significado*) sin abandonar el marco conceptual de la física clásica, con sus estructuras materiales, sus fuerzas y sus relaciones de causa y efecto.

Varios de los primeros estructuralistas reconocían también las conexiones entre realidad social, consciencia y lenguaje. El lingüista Ferdinand de Saussure fue uno de los fundadores del estructuralismo. El antropólogo Claude Lévi-Strauss, cuyo nombre está íntimamente vinculado a la tradición estructuralista, fue el primero en analizar la vida social mediante el uso sistemático de analogías con el sistema lingüístico. La atención por el lenguaje se acentuó en los años sesenta, con la aparición de las denominadas «sociologías interpretativas», que hacen hincapié en que el individuo interpreta la realidad social circundante y actúa en consecuencia.

Durante los cuarenta y los cincuenta, Talcott Parsons, uno de los teóricos sociales más destacados de su tiempo, desarrolló una «teoría general de las acciones» muy influida por la teoría general de sistemas. Parsons trató de integrar estructuralismo y funcionalismo en un único marco teórico, y defendió que las acciones humanas tratan de conseguir objetivos personales a la vez que están constreñidas por el entorno social. Al igual que Parsons, muchos sociólogos de su tiempo llamaron la atención sobre

la importancia de las intenciones y los propósitos, y se centraron en el «libre albedrío humano» o acción dotada de propósito.

La orientación sistémica de Talcott Parsons ha sido desarrollada en mayor profundidad por Niklas Luhmann, uno de los sociólogos contemporáneos más innovadores, que, inspirado por las ideas de Maturana y Varela, ha propugnado una teoría de «autopoiesis social» a la que volveré con más detalle.⁸

GIDDENS Y HABERMAS: DOS TEORÍAS INTEGRADORAS

Durante la segunda mitad del siglo XX la teoría social fue moldeada significativamente por diversos intentos de trascender las escuelas opuestas de las décadas anteriores e integrar los conceptos de estructura social y de libre albedrío humano con un análisis explícito del significado. La teoría de la estructuración de Anthony Giddens y la teoría crítica de Jürgen Habermas han sido, probablemente, los más influyentes de estos marcos teóricos integradores.

Anthony Giddens hace importantes contribuciones a la teoría social desde principios de los setenta.⁹ Su teoría de la estructuración está diseñada para explorar la interacción entre estructuras sociales y libre albedrío humano de tal modo que integra, por un lado, conceptos e ideas del estructuralismo y del funcionalismo, y, por otro, de las sociologías interpretativas. Para conseguirlo Giddens emplea dos métodos de investigación, distintos, pero complementarios. El análisis institucional constituye su método para estudiar las estructuras e instituciones sociales, mientras que el análisis estratégico le sirve para estudiar el modo como la gente recurre a esas estructuras e instituciones para lograr sus objetivos estratégicos.

Giddens subraya que la conducta estratégica de la gente se basa en gran medida en el modo como interpreta su entorno. De hecho, Giddens señala que los científicos sociales deben enfrentarse a una «doble hermenéutica»: tienen que interpretar su materia de estudio, la función de la cual es, precisamente, in-

interpretar. Por consiguiente, Giddens piensa que hay que tomarse en serio las intuiciones fenomenológicas subjetivas, si es que aspiramos a comprender la conducta humana.

Como cabría esperar de una teoría integradora que trata de trascender opuestos tradicionales, el concepto de estructura social de Giddens es más bien complejo. Como en la mayor parte de la teoría social contemporánea, está definida por una serie de reglas expresadas en prácticas sociales, a las que Giddens añade los recursos en su definición de estructura social. Las reglas son de dos clases: esquemas interpretativos, o reglas semánticas, y normas, o reglas morales. Hay también dos clases de recursos: los materiales comprenden la propiedad o control de objetos (foco de atención tradicional de los sociólogos marxistas), mientras que los autoritativos resultan de la organización del poder.

Giddens utiliza asimismo los términos «propiedades estructurales», para referirse a las características institucionalizadas de la sociedad (por ejemplo, la división del trabajo), y «principios estructurales», para referirse a las más profundamente enraizadas de esas características. El estudio de los principios estructurales, que constituye la forma más abstracta de análisis social, permite distinguir entre distintos tipos de sociedad.

Según Giddens, la interacción entre estructuras sociales y libre albedrío humano es cíclica. Las estructuras sociales son a la vez la condición previa y el resultado fortuito del libre albedrío de las personas. Los miembros de la sociedad se nutren de ellas para implicarse en sus prácticas sociales cotidianas, y al hacerlo no pueden evitar reproducir esas mismas estructuras.

Por ejemplo, al hablar no tenemos más remedio que ceñirnos a las reglas de nuestro idioma, de modo que, al utilizarlo, estamos continuamente reproduciendo y transformando las mismísimas estructuras semánticas. Por consiguiente, las estructuras sociales nos permiten interactuar, al mismo tiempo que son reproducidas por nuestras interacciones. Es lo que Giddens denomina «dualidad de estructura», y admite su semejanza con la naturaleza circular de las redes autopoiésicas en biología.¹⁰

Los vínculos conceptuales con la teoría de autopoiesis resultan aún más evidentes cuando pasamos a la visión del libre albedrío humano de Giddens, en la que insiste en que el libre albedrío no consiste en actos discretos, sino en un flujo continuado de conducta. De forma equivalente, una red metabólica viva encarna un proceso de vida fluyente. Del mismo modo que los componentes de una red viva se transforman o se reemplazan continuamente unos a otros, también las acciones en el flujo de la conducta humana tienen, en la teoría de Giddens, una «capacidad transformadora».

Durante los setenta, al mismo tiempo que Anthony Giddens desarrollaba en la Universidad de Cambridge su teoría de la estructuración, Jürgen Habermas formulaba en la Universidad de Frankfurt una teoría de igual alcance y profundidad, a la que puso por nombre «teoría de la acción comunicativa».¹¹ Al integrar numerosas ramas filosóficas, Habermas se ha convertido en un líder intelectual de primer orden, con gran influencia en la filosofía y la teoría social. Es, sin duda, el exponente contemporáneo más sobresaliente de la teoría crítica, teoría social de raíces marxistas desarrollada por la escuela de Frankfurt en los años treinta.¹² Fieles a sus orígenes marxistas, los teóricos críticos no se limitan a querer explicar el mundo, sino que su objetivo último consiste, según Habermas, en desvelar las condiciones estructurales de las acciones de la gente y ayudarla a trascenderlas. La teoría crítica trata del poder y se orienta a la emancipación.

Al igual que Giddens, Habermas afirma la necesidad de dos perspectivas, distintas, pero complementarias, para comprender plenamente los fenómenos sociales. Una es la del sistema social, que se corresponde con la atención a las instituciones de la teoría de Giddens, mientras que la otra es la perspectiva del «mundo vivo», o *Lebenswelt*, correspondiente a la atención de Giddens por la conducta humana.

Para Habermas el sistema social está relacionado con el modo en que las estructuras sociales constriñen, lo que comprende cuestiones de poder y, específicamente, las relaciones de

clase involucradas en la producción. El mundo vivo, por su parte, suscita cuestiones de significado y comunicación. De acuerdo con esto, Habermas contempla la teoría crítica como la integración de dos clases distintas de conocimiento: el empírico-analítico, que se asocia al mundo exterior y se ocupa de las explicaciones causales, y la hermenéutica o comprensión del significado, asociada con el mundo interno, que se ocupa del lenguaje y la comunicación.

Al igual que Giddens, Habermas admite la importancia de las intuiciones hermenéuticas en el funcionamiento del mundo social, en la medida en que la gente atribuye un significado a su entorno y actúa en consecuencia. Sin embargo, Habermas señala que las interpretaciones personales se basan siempre en una serie de presuposiciones implícitas insertas en la historia y la tradición, y argumenta que eso significa que no todas las presuposiciones son igualmente válidas. Según él, los científicos sociales deberían evaluar críticamente las distintas tradiciones para identificar distorsiones ideológicas y desvelar sus conexiones con las relaciones de poder. La emancipación tiene lugar cuando el individuo logra superar restricciones pasadas resultantes de una comunicación distorsionada.

En concordancia con esas distinciones entre diferentes mundos y distintas clases de conocimiento, Habermas distingue también entre diferentes clases de acción, y es ahí donde la naturaleza integradora de su teoría crítica resulta tal vez más patente. En términos de las cuatro perspectivas analizadas anteriormente, podríamos decir que la acción pertenece claramente al ámbito de la perspectiva de proceso. Al identificar tres clases de acción, Habermas conecta el *proceso* con cada una de las otras tres perspectivas. La acción instrumental tiene lugar en el mundo exterior (*materia*), la acción estratégica se desarrolla en el terreno de las relaciones humanas (*forma*) y la acción comunicativa se orienta hacia el logro de la comprensión (*significado*). Cada clase de acción está asociada, según Habermas, con un sentido distinto de «rectitud». La recta acción se refiere a la verdad de los hechos en el mundo material, a la rec-

titud moral en el mundo social y a la sinceridad en el mundo interior.

EXTENSIÓN DEL ENFOQUE SISTÉMICO

Las teorías de Giddens y de Habermas constituyen esfuerzos notorios para integrar los estudios sobre el mundo exterior de causa y efecto, el mundo social de las relaciones humanas y el mundo interior de valores y significado. Ambos teóricos sociales integran ideas y conceptos de las ciencias naturales, de las ciencias sociales y de las filosofías cognitivas, al mismo tiempo que rechazan las limitaciones del positivismo.

Considero que esa integración puede ser llevada significativamente más allá extendiendo la nueva comprensión sistémica de la vida al ámbito social dentro del marco conceptual de las cuatro perspectivas anteriormente descritas: forma, materia, proceso y significado. Para llegar a una comprensión sistémica de la realidad social será necesario integrar esas cuatro perspectivas.

Esa comprensión sistémica se basa en la premisa de la existencia de una unidad fundamental de la vida, de que sistemas vivos diferentes muestran patrones de organización similares. Esta presuposición queda reforzada por la observación de que la evolución ha obrado, a lo largo de miles de millones de años, mediante el uso repetido de unos mismos patrones. A medida que la vida evoluciona, esos patrones tienden a ser más y más complejos, pero no por ello dejan de ser variaciones sobre unos mismos temas básicos.

La red, en particular, constituye uno de los patrones de organización absolutamente básicos para todos los sistemas vivos. En cualquier nivel de vida —desde las redes metabólicas celulares hasta las cadenas tróficas de los ecosistemas— los componentes y los procesos de los sistemas vivos están interconectados en forma de red. Extender la comprensión sistémica de la vida al ámbito social significa, por consiguiente, aplicar a la realidad

social nuestro conocimiento de los patrones y principios de organización básicos de la vida y, más específicamente, nuestra comprensión de las redes vivas.

Sin embargo, si bien las ideas y conceptos de organización de las redes biológicas puede ayudarnos a comprender las redes sociales, no es de esperar que suceda lo mismo con la transferencia, desde el ámbito biológico al ámbito social, de nuestra comprensión de la estructura material de la red. Tomemos como ejemplo la red celular metabólica para aclarar este punto. La red celular es un patrón no lineal de organización, para la comprensión de cuyos entresijos necesitamos de la teoría de la complejidad o dinámica no lineal. Es más, la célula es un sistema químico, por lo que necesitaremos también de la biología molecular y de la bioquímica para comprender la naturaleza de las estructuras y los procesos que constituyen los nodos y vínculos de su red. Si no sabemos qué es una enzima, ni cómo cataliza la síntesis de una proteína, no es de esperar que lleguemos a comprender la red metabólica celular.

Una red social es asimismo un patrón no lineal de organización, por lo que es muy probable que las ideas y los conceptos desarrollados en la teoría de la complejidad, como la retroalimentación y la emergencia, sean también relevantes en el contexto social. Sin embargo, los nodos y los vínculos de esa red no son meramente bioquímicos. Las redes sociales son, ante todo y sobre todo, redes de comunicación que involucran al lenguaje simbólico, a los constreñimientos culturales, a las relaciones de poder, etcétera. Para comprender las estructuras de tales redes necesitaremos ideas y conceptos de la teoría social, de la filosofía, de la ciencia cognitiva y de la antropología, entre otras disciplinas. Un marco sistémico unificado para la comprensión de los fenómenos biológicos y sociales sólo podrá emerger cuando se combinen los conceptos de la dinámica no lineal con las ideas de esos campos de estudio.

LAS REDES DE COMUNICACIONES

Para aplicar nuestro conocimiento de las redes vivas a los fenómenos sociales habrá que determinar si el concepto de autopoiesis es válido o no en el ámbito social. Si bien en los últimos años ha habido un considerable debate sobre esta cuestión, la situación dista aún mucho de estar clara.¹³ La clave del asunto estriba en determinar cuáles son los elementos de una red autopoiesis. Maturana y Varela propusieron originalmente que el concepto de autopoiesis debería quedar restringido a la descripción de redes celulares, y que a los demás sistemas vivos debería aplicárseles el concepto más amplio de «sistemas organizativos delimitados», que no especifica procesos de producción.

Otra escuela de pensamiento, liderada por el sociólogo Niklas Luhmann, mantiene que, formulada estrictamente dentro del marco conceptual de la teoría social, la noción de autopoiesis puede ser extendida al ámbito social. Luhmann ha desarrollado con considerable detalle una teoría de «autopoiesis social».¹⁴ No obstante, este sociólogo argumenta, curiosamente, que, aun siendo autopoiesis, los sistemas sociales no son sistemas vivos.

Puesto que los sistemas sociales no implican tan sólo a seres humanos vivos, sino también al lenguaje, a la consciencia y a la cultura, son, evidentemente, sistemas cognitivos, por lo que no parece demasiado lógico considerarlos no vivos. Personalmente, prefiero mantener la autopoiesis como característica definitoria de la vida, pero en mi análisis de las organizaciones humanas sugeriré también que los sistemas sociales pueden estar vivos en grado variable.¹⁵

El argumento central de Luhmann consiste en identificar a las comunicaciones como elementos de las redes sociales: «Los sistemas sociales utilizan la comunicación como su forma particular de reproducción autopoiesis. Sus elementos son comunicaciones producidas y reproducidas de manera recurrente por una red de comunicaciones, y no pueden existir fuera de

ella.»¹⁶ Esas redes de comunicaciones son autogenéticas. Cada comunicación crea pensamientos y significado, lo cual da pie a nuevas comunicaciones, y de este modo la red se genera a sí misma, es decir, es autopoiesis. Al ser recurrentes las comunicaciones en múltiples bucles de retroalimentación, producen un sistema de creencias, explicaciones y valores compartidos –un contexto común de significado– que es continuamente sostenido por nuevas comunicaciones. En este contexto de significado compartido los individuos adquieren identidades como miembros de la red social, la cual crea de este modo su propio perímetro, que no es un contorno físico, sino de expectativas, confidencialidad y lealtad, mantenido y renegociado continuamente por la propia red.

Para la exploración de las implicaciones de la visión de los sistemas sociales como redes de comunicaciones resulta útil recordar la naturaleza dual de la comunicación humana. Como toda comunicación entre organismos vivos, la comunicación humana implica una continua coordinación de comportamiento, y, puesto que implica al pensamiento conceptual y al lenguaje simbólico, genera también imágenes mentales, pensamientos y significado. Por consiguiente, es de esperar un doble efecto de las redes de comunicación. Por un lado, generarán ideas y contextos de significado, y, por otro, normas de comportamiento o –en el lenguaje de los teóricos sociales– estructuras sociales.

EL SIGNIFICADO, PROPÓSITO Y LIBERTAD HUMANA

Una vez identificados los sistemas sociales como redes autogenéticas, pasemos a ocuparnos de las estructuras producidas por esas redes, así como de la naturaleza de las relaciones por ellas engendradas. La comparación con las redes biológicas sigue resultando adecuada para ello. Por ejemplo, la red metabólica de una célula genera estructuras materiales. Algunas de ellas se convierten en componentes estructurales de la propia red y

pasan a formar parte de la membrana o de otras estructuras de la célula. Otras circulan por los nodos de la red transportando energía o información, o como catalizadores de procesos metabólicos.

También las redes sociales generan estructuras materiales –edificios, carreteras, tecnologías, etcétera– que se convierten en elementos estructurales de la red y producen bienes y artefactos materiales que son intercambiados entre los nodos de ésta. Sin embargo, la producción de estructuras materiales en las redes sociales es muy diferente de la que tiene lugar en las redes biológicas y ecológicas. Esas estructuras son creadas para un propósito determinado, según un diseño, y constituyen la expresión material de un significado. Para comprender las actividades de los sistemas sociales es fundamental estudiarlos desde esta perspectiva.

La perspectiva del significado incluye multitud de características interrelacionadas, esenciales para la comprensión de la realidad social. El propio significado es un fenómeno sistémico: siempre está relacionado con el contexto. El *Webster's Dictionary* lo define como «una idea transmitida a la mente que requiere o permite interpretación», y la interpretación es definida como «formarse idea de algo a la luz de creencias, juicios o circunstancias individuales». Para comprender el significado de cualquier cosa necesitamos relacionarla con otras cosas de su entorno, de su pasado o de su futuro. Nada tiene sentido por sí solo.

Por ejemplo, para comprender el significado de un texto literario es necesario establecer los múltiples contextos de sus palabras y de sus frases. Eso puede constituir una empresa puramente intelectual, pero también puede alcanzar un nivel más profundo. Cuando el contexto de una idea o expresión incluye relaciones que nos hacen sentirnos implicados, resulta significativa para nosotros de forma personal. Este sentido más profundo del significado incluye una dimensión emocional que puede llegar incluso a superar a la propia razón. A través del contexto proporcionado por la experiencia directa algo puede llegar a ser profundamente significativo para nosotros.

El significado es esencial para los seres humanos. Necesitamos comprender continuamente el significado de nuestros mundos interno y externo, así como el de nuestro entorno y nuestras relaciones con otros seres humanos, y obrar de acuerdo con esa comprensión. Ello incluye, en particular, nuestra necesidad de actuar con un propósito o un objetivo en mente. Dada nuestra capacidad para proyectar imágenes mentales hacia el futuro, actuamos con la convicción –válida o no– de que nuestras acciones son voluntarias e intencionadas y tienen un propósito.

Como seres humanos estamos capacitados para dos clases de acciones. Como cualquier otro organismo vivo, estamos involucrados en actividades involuntarias e inconscientes, tales como la digestión de los alimentos o la circulación sanguínea, que forman parte del proceso de la vida y son, por consiguiente, cognitivas, en el sentido de la teoría de Santiago. Además, nos implicamos en actividades voluntarias e intencionadas, y es precisamente al actuar con intención y propósito cuando experimentamos la libertad humana.¹⁷

Como ya he mencionado, la reciente comprensión de la vida arroja nueva luz sobre el debate filosófico ancestral acerca de la libertad y el determinismo.¹⁸ El meollo de la cuestión estriba en que el comportamiento de un sistema vivo está constreñido, pero no determinado, por fuerzas externas a él. Los organismos vivos son autoorganizadores, lo cual significa que su comportamiento no es impuesto por el entorno, sino que es establecido por el propio sistema. Más específicamente, el comportamiento del organismo está determinado por su propia estructura, que, a su vez, está formada por una sucesión de cambios estructurales autónomos.

La autonomía de los sistemas vivos no debe ser confundida con su independencia. Los organismos vivos no están aislados de su entorno, sino que interactúan continuamente con él. Sin embargo, el entorno no determina su organización. En el ámbito humano, experimentamos esa autodeterminación como la libertad de actuar según nuestras elecciones y nuestras decisiones. Experimentarlas como nuestras significa que están determina-

das por nuestra naturaleza, la cual incluye nuestras experiencias pasadas y nuestra herencia genética. Mientras no lo limitan las relaciones humanas de poder, nuestro comportamiento es autodeterminado y, por consiguiente, libre.

LA DINÁMICA DE LA CULTURA

Nuestra capacidad para generar imágenes mentales y proyectarlas en el futuro no nos permite tan sólo identificar objetivos y propósitos, o desarrollar diseños y estrategias, sino también elegir entre diversas alternativas y, por ende, formular valores y normas sociales de comportamiento. Todos esos fenómenos sociales son generados por redes de comunicaciones como consecuencia del doble papel de la comunicación humana. Por un lado, la red genera continuamente nuevas imágenes mentales, nuevos pensamientos y nuevos significados; por otro, coordina de modo incesante el comportamiento de sus miembros. A partir de la compleja dinámica e interdependencia de esos procesos surge el sistema integrado de valores, creencias y conducta que asociamos con el fenómeno de la cultura.

El término «cultura» tiene una dilatada y enrevesada historia, y en la actualidad es usado por diversas disciplinas intelectuales con significados dispares y que a veces inducen a confusión. En su clásico *Culture*, el historiador Raymond Williams remonta el significado de la palabra a su uso original, para denotar un proceso: la cultura (es decir, el cultivo) de la tierra, o la cultura (es decir, la cría) de animales. En el siglo XVI este significado fue metafóricamente extendido al cultivo activo de la mente humana. A finales del siglo XVIII, cuando la palabra fue tomada del francés por autores alemanes (que primero la escribieron *Cultur* y más tarde *Kultur*), adquirió el significado de la forma distintiva de vivir de un pueblo.¹⁹ En el siglo XIX las diferentes «culturas» adquirieron una importancia específica en el desarrollo de la antropología comparada, en la que ese término sigue designando formas de vivir distintivas.

Mientras tanto, seguía también vigente el uso más antiguo de «cultura» como cultivo activo de la mente. De hecho, se expandió y diversificó hasta abarcar un abanico de significados que va desde un estado mental desarrollado (una persona «con cultura») hasta el proceso («actividades culturales») o los medios necesarios para tal fin (administrados, por ejemplo, por un «Ministerio de Cultura»). Hoy día, los diversos significados del término asociados con el cultivo de la mente conviven —a menudo con dificultades, como señala Williams— con la acepción antropológica con el sentido de forma de vivir distintiva de un pueblo o grupo social (como sucede con «cultura aborigen» o «cultura empresarial»). Por añadidura, el término sigue siendo usado en su significado biológico original de cultivo, como en «agricultura».

En nuestro análisis sistémico de la realidad social nos centraremos en el significado antropológico del término «cultura», que la *Columbia Encyclopedia* define como «sistema integrado de valores, creencias y normas de conducta socialmente adquiridos, que delimita el ámbito de comportamientos admitidos por determinada sociedad». Al examinar con más detalle esta definición, descubrimos que la cultura surge de una dinámica compleja y altamente no lineal; que es creada por una red social que involucra a múltiples bucles de retroalimentación, a través de los cuales valores, creencias y normas de conducta se comunican, modifican y sostienen constantemente; que surge de una red de comunicaciones entre individuos, y que, al surgir, constriñe las acciones de esos mismos individuos. En otras palabras, que las estructuras sociales o las normas de conducta que constriñen las acciones de los individuos son producidas y continuamente reforzadas por su propia red de comunicaciones.

La red social produce también un cuerpo de conocimientos compartido —que comprende información, ideas y habilidades— que, junto con sus valores y sus creencias, conforma el modo específico de vivir de esa cultura. Por otra parte, los valores y creencias de una cultura afectan a su cuerpo de conocimientos, en la medida en que forman parte del prisma a través del que

ven el mundo sus miembros, y contribuye a la interpretación de sus experiencias, así como a decidir si una determinada clase de conocimiento es significativa o no. Este conocimiento significativo, constantemente modificado por la red de comunicaciones, es transmitido de generación en generación junto con los valores, las creencias y las normas de conducta de esa cultura.

El sistema de creencias y valores compartidos crea una identidad entre los miembros de la red social, identidad que se basa en el sentido de pertenencia. Las personas de culturas distintas no tienen unas mismas identidades porque poseen diferentes conjuntos de valores y creencias. Por otra parte, un individuo puede pertenecer a varias culturas. El comportamiento de la gente está moldeado y restringido por su identidad cultural que, a su vez, refuerza su sentido de pertenencia. La cultura está inmersa en el modo de vida de la gente, y tiende a ser tan omnipresente que su existencia escapa de nuestra percepción común.

Asimismo, la identidad cultural refuerza las defensas de la red al crear un perímetro de significado y expectativas que limitan el acceso a ella de personas e información. Así pues, la red social está implicada en la comunicación dentro de un perímetro cultural que sus miembros recrean y renegocian continuamente. Esta situación no es muy distinta de la de la red metabólica celular, que produce y recrea de manera continua un perímetro —la membrana celular— que la delimita y le confiere su identidad. No obstante, hay algunas diferencias cruciales entre los contornos celulares y los sociales. Los límites sociales, como he subrayado, no son necesariamente físicos, sino de significado y expectativas. Tampoco rodean, en sentido literal, la red, sino que existen en un ámbito mental que carece de las propiedades topológicas del espacio físico.

EL ORIGEN DEL PODER

El fenómeno del poder constituye una de las características más sorprendentes de la realidad social. En palabras del econo-

mista John Kenneth Galbraith: «El ejercicio del poder, la sumisión de unos a la voluntad de otros, es inevitable en la sociedad moderna; nada se logra sin él [...] El poder puede ser socialmente maligno, pero no deja de ser socialmente esencial.»²⁰ El papel fundamental del poder en la organización social está unido a inevitables conflictos de intereses. Debido a nuestra capacidad para tener preferencias y elegir opciones en consecuencia, los conflictos de intereses no pueden dejar de aparecer en toda comunidad humana. El poder es el medio por el que esos conflictos se resuelven.

Ello no implica necesariamente la amenaza de la fuerza o su uso. En su lúcido ensayo Galbraith distingue tres clases de poder, según los medios empleados. El coercitivo consigue la sumisión infligiendo sanciones o amenazando con ellas. El compensatorio la logra ofreciendo recompensas e incentivos. El condicionado la obtiene cambiando las creencias por medio de la persuasión o la educación.²¹ Se llama política a la habilidad para encontrar la mezcla adecuada de estas tres clases de poder, con el objetivo de resolver conflictos y equilibrar intereses contrapuestos.

Las relaciones de poder están crucialmente definidas por los acuerdos sobre posiciones de autoridad que forman parte de las normas de conducta de la sociedad. En la evolución humana es posible que tales acuerdos surgieran muy pronto, con el desarrollo de las primeras comunidades. La comunidad podía funcionar mucho mejor si alguien tenía autoridad para tomar decisiones o facilitar que se tomaran, en caso de presentarse conflictos de intereses. Tales arreglos sociales habrían proporcionado a la comunidad una significativa ventaja evolutiva.

De hecho, el significado original del término «autoridad» no es el de «poder para mandar», sino el de «una base sólida para saber y actuar».²² Si buscamos una base sólida de conocimientos, probablemente consultaremos los textos autorizados, y, si estamos gravemente enfermos, buscaremos a un médico que sea una autoridad en la especialidad correspondiente.

Desde tiempos inmemoriales las comunidades humanas han elegido como líderes a hombres y mujeres reconocidos por

su sabiduría y su experiencia, porque ofrecían base sólida para la acción colectiva. Una vez elegidos, esos líderes eran investidos de poder, lo cual significaba originalmente que les hacían entrega de la indumentaria y los símbolos de su liderazgo, y su autoridad llevaba asociado el poder de dar órdenes. El origen del poder reside, pues, en posiciones de autoridad culturalmente definidas, sobre las cuales se apoya la comunidad para resolver conflictos y tomar las decisiones a fin de obrar de forma sabia y eficaz. En otras palabras, la verdadera autoridad consiste en conferir poder a otros para que actúen.

Sin embargo, sucede a menudo que los atributos que confieren el poder para dar órdenes —el ropaje, la corona, el título, etcétera— se otorgan a alguien que carece de verdadera autoridad. Esta autoridad investida, y no la sabiduría de un líder genuino, pasa entonces a convertirse en la única fuente de poder, y, en semejante situación, es fácil que la naturaleza de la autoridad cambie porque quien ostente el poder se niegue a devolverlo y lo utilice para promover su propio interés. El poder se une entonces a la explotación.

La asociación del poder con el propio interés constituye la base de la mayoría de los análisis contemporáneos de este fenómeno. En palabras de Galbraith: «Individuos y grupos buscan el poder para favorecer sus propios intereses, así como para imponer a los demás sus propios valores personales, religiosos o sociales.»²³ Cuando se busca el poder por el poder, se avanza un paso más en la explotación. Es bien sabido que para la mayoría de las personas el ejercicio del poder conlleva elevadas recompensas emocionales y materiales, encarnadas en símbolos y rituales de obediencia que pueden ir desde ovaciones, bandas de música y saludos militares, hasta grandes despachos con antepasala, limusinas, aviones privados o desfiles de automóviles.

A medida que la comunidad crece y se incrementa su complejidad, el número de sus posiciones de poder crece también. En las sociedades complejas la resolución de los conflictos y las decisiones sobre cómo actuar serán eficaces únicamente si la autoridad y el poder están organizados en estructuras adminis-

trativas. En la dilatada historia de la civilización humana esta necesidad de ordenar la distribución del poder ha creado numerosas formas de organización social.

Así pues, el poder tiene un papel principal en la emergencia de las estructuras sociales. En la teoría social todas las normas de conducta quedan incluidas dentro del concepto de estructura social, tanto si son informales (resultado de las continuas coordinaciones de comportamientos) como si son formales, documentadas y reforzadas por leyes. Todas esas estructuras formales (o instituciones sociales) son, en definitiva, reglas de comportamiento que facilitan la toma de decisión y encarnan las relaciones de poder. Este vínculo fundamental entre poder y estructura social ha sido extensamente analizado en los textos clásicos sobre el poder. El sociólogo y economista Max Weber declara: «La dominación ha tenido un papel decisivo [...] en las estructuras sociales económicamente más importantes del pasado y del presente.»²⁴ Según la politóloga Hannah Arendt: «Todas las instituciones políticas son manifestaciones y encarnaciones de poder.»²⁵

LA ESTRUCTURA EN LOS SISTEMAS BIOLÓGICOS Y SOCIALES

Al analizar la dinámica de las redes sociales, de la cultura y del origen del poder hemos visto repetidamente que la creación de estructuras, tanto materiales como sociales, constituye una característica clave de esa dinámica. Llegados a este punto resulta útil revisar, de forma sistemática, el papel de la estructura en los sistemas vivos.

Todo análisis sistémico se centra en el concepto de organización, o «patrón de organización». Los sistemas vivos son redes autogenéticas, lo cual significa que su patrón de organización es un patrón en red, en el que cada componente contribuye a la producción de otros componentes. Esta idea puede extenderse al ámbito social sustituyendo las redes vivas por las correspondientes redes de comunicaciones.

En el dominio social el concepto de organización adquiere un significado adicional. Las organizaciones sociales, tales como las empresas o las instituciones políticas, son sistemas cuyos patrones de organización están diseñados para distribuir el poder. Estos patrones formalmente diseñados se denominan estructuras organizativas y están representados visualmente por los organigramas organizativos estándar. En última instancia, son normas de conducta que facilitan la toma de decisiones y encarnan las relaciones de poder.²⁶

En los sistemas biológicos todas las estructuras son estructuras materiales. Los procesos de una red biológica son procesos de producción de los componentes materiales de la red; las estructuras resultantes son la encarnación material del patrón de organización del sistema. Toda estructura biológica cambia continuamente, de modo que el proceso de encarnación material es continuo.

Los sistemas sociales producen tanto estructuras inmateriales como materiales. Los procesos que sustentan una red social son procesos de comunicación, que generan significados y reglas de comportamiento compartidos (la cultura de la red), así como un cuerpo común de conocimiento. Las normas de conducta —formales o informales— reciben la denominación de estructuras sociales. El sociólogo Manuel Castells afirma lo siguiente: «Las estructuras sociales son el concepto fundacional de la teoría social. Todo lo demás funciona a través de ellas.»²⁷

Las ideas, valores, creencias y demás formas de conocimiento generadas por los sistemas sociales constituyen estructuras de significado, que denominaré «estructuras semánticas». Estas estructuras semánticas, y, por ende, los patrones de organización del sistema, están encarnadas físicamente, hasta cierto punto, en el cerebro de los individuos que pertenecen a esa red. También pueden estarlo en otras estructuras biológicas a través de los efectos de la mente de cada individuo sobre su cuerpo, como, por ejemplo, en el caso de enfermedades relacionadas con el estrés. Descubrimientos recientes en ciencia de la cognición parecen indicar que, puesto que la mente está siempre en-

carneada físicamente, hay una interrelación constante entre las estructuras semánticas, neurales y biológicas en general.²⁸

En las sociedades modernas las estructuras semánticas de la cultura están documentadas, es decir, encarnadas físicamente en textos escritos y digitales. También lo están en artefactos, obras de arte y demás estructuras materiales, al igual que en el caso de las culturas tradicionales carentes de sistemas de escritura. De hecho, las actividades de los individuos en las redes sociales incluyen específicamente la producción organizada de bienes materiales. Todas esas estructuras materiales –textos, obras de arte, tecnologías y bienes materiales– son creadas para un propósito determinado y según un diseño específico. Son, por lo tanto, manifestaciones físicas del significado compartido que crean las redes de comunicación de la sociedad.

TECNOLOGÍA Y CULTURA

En biología el comportamiento de un organismo vivo es conformado por su estructura. Puesto que ésta cambia con el desarrollo del organismo y con la evolución de su especie, el comportamiento cambia también.²⁹ En los sistemas sociales se puede observar una dinámica similar. La estructura biológica de un organismo es el equivalente de la estructura inmaterial de una sociedad, que encarna la cultura de esa sociedad. A medida que esa cultura evoluciona, lo hace también su infraestructura: evolucionan juntas a través de continuas influencias mutuas.

Las influencias de la infraestructura material en el comportamiento de las personas y la cultura son particularmente significativas en el caso de la tecnología. De ahí que el análisis de ésta se haya convertido en una materia importante en la teoría social, tanto dentro de la tradición marxista como fuera de ella.³⁰

Al igual que el de «ciencia», el significado del término «tecnología» ha cambiado notablemente a lo largo de los siglos. El término original griego *technología*, derivado de *téchne* («arte»),

significaba «discurso de las artes». Cuando el término fue utilizado por primera vez en inglés, en el siglo XVII, se refería a una discusión sistemática de las «artes aplicadas» u oficios, y gradualmente pasó a denotar esos propios oficios. A principios del siglo XX su significado fue extendiéndose hasta incluir no tan sólo las herramientas y las máquinas, sino también los métodos y las técnicas inmateriales, y se refería a la aplicación sistemática de cualquiera de esas técnicas. Hablamos así de la «tecnología de la gestión empresarial» o de las «tecnologías de simulación». Hoy día la mayoría de las definiciones de la tecnología subrayan su relación con la ciencia. El sociólogo Manuel Castells la define como «el conjunto de instrumentos, normas y procedimientos mediante el cual el conocimiento científico es aplicado a una determinada tarea de forma reproducible».³¹

Sin embargo, la tecnología es mucho más antigua que la ciencia. Sus orígenes en la confección de herramientas se remontan a los mismísimos albores de la especie humana, cuando el lenguaje, la consciencia reflexiva y la capacidad de elaborar herramientas evolucionaron al unísono.³² En consecuencia, la primera especie humana recibió el nombre de *Homo habilis* («humano habilidoso»), lo que indica su capacidad para manufacturar herramientas complejas.³³ Así pues, la tecnología constituye una característica definitoria de la naturaleza humana: su historia abarca todo el periplo de la evolución humana.

Al ser un aspecto fundamental de la naturaleza humana, la tecnología ha moldeado de forma crucial sucesivas épocas de la civilización.³⁴ Desde la Edad de Piedra hasta la Era de la Información, pasando por la Edad de Bronce y la Edad de Hierro, definimos los grandes períodos de la civilización en términos de sus tecnologías. A lo largo de los milenios, pero particularmente desde la Revolución Industrial, voces críticas han señalado que las influencias de la tecnología, la vida y la cultura humanas no siempre son beneficiosas. A principios del siglo XIX William Blake denunció los «oscuros molinos satánicos» del creciente industrialismo británico. Varias décadas más tarde Karl Marx describió vívida y emotivamente la horrenda explotación

de los trabajadores en las industrias británicas del encaje y la porcelana.³⁵

Más recientemente, algunos críticos han llamado la atención sobre las crecientes tensiones entre valores culturales y alta tecnología.³⁶ Los defensores de ésta rechazan esas críticas y afirman que la tecnología es neutral, que sus efectos serán beneficiosos o perjudiciales según el uso que se le dé. No obstante, estos defensores de la tecnología no parecen percatarse de que cualquier tecnología específica conformará siempre la naturaleza humana de un modo u otro, habida cuenta de lo fundamental que es para los humanos el uso de la tecnología. Como explican los historiadores Melvin Kranzberg y Carroll Pursell:

Afirmar que la tecnología no es estrictamente neutral, que adolece de tendencias inherentes e impone sus propios valores, no es más que reconocer el hecho de que, como parte de nuestra cultura, influye en el modo como nos comportamos y maduramos. Como [los humanos] hemos tenido siempre alguna forma de tecnología, ésta ha influido de manera constante en la naturaleza y la dirección de nuestro desarrollo. No se puede detener ese proceso ni acabar con esa relación. Tan sólo cabe comprenderlos y —esperémoslo— dirigirlos hacia objetivos que merezcan la pena [para la humanidad].³⁷

Con este breve análisis de la interrelación entre tecnología y cultura, a la que volveré a referirme más de una vez en las páginas siguientes, concluye mi esbozo de un marco unificado y sistémico para la comprensión de la vida biológica y social. Dedicaré el resto de la presente obra a la aplicación de ese marco conceptual a algunas de las cuestiones sociales y políticas más candentes de nuestra época: la gestión de las organizaciones humanas, los retos y peligros de la globalización económica, los problemas relacionados con la biotecnología y el diseño de comunidades sostenibles.

Segunda parte

Los retos del siglo XXI

En los últimos años, la naturaleza de las organizaciones humanas ha sido objeto de amplios debates en los círculos empresariales y de la administración de empresas, como respuesta a un sentimiento muy difundido de que el mundo de los negocios actual necesita profundas transformaciones. El cambio organizativo se ha convertido en un tema dominante en los textos de gestión empresarial, y abundan los consultores empresariales que ofrecen seminarios sobre «gestión y cambio».

En los diez últimos años he sido invitado a participar en algunos seminarios para ejecutivos empresariales, y al principio me sorprendió la intensidad con que sentían la necesidad de introducir cambios organizativos en sus empresas. Las corporaciones parecían más poderosas que nunca, la política estaba claramente supeditada a los intereses de los grandes grupos empresariales y los beneficios y el valor de las acciones de la mayoría de las empresas ascendían a cotas nunca vistas. Todo parecía ir viento en popa para el mundo de los negocios. ¿Por qué, pues, se hablaba tanto de cambios fundamentales?

Al escuchar las conversaciones entre los altos ejecutivos que participaban en aquellos seminarios, comencé pronto a vislumbrar un escenario bien distinto. Esos directivos están hoy día sometidos a un enorme estrés. Trabajan más horas que nunca, y muchos se quejan de no tener tiempo para las relaciones personales, así como de no sentirse felices a pesar de su creciente

prosperidad material. Tal vez sus empresas parezcan poderosas vistas desde fuera, pero ellos se sienten empujados de aquí para allá por las fuerzas de un mercado global, e inseguros ante unas turbulencias que no pueden predecir ni comprender del todo.

El campo en que desarrollan sus actividades la mayor parte de las empresas cambia a una velocidad increíble. Los mercados están siendo rápidamente desregulados, e incesantes fusiones y absorciones corporativas imponen cambios culturales y estructurales radicales a las organizaciones implicadas, cambios que van más allá de la capacidad de aprendizaje de las personas y desbordan tanto al individuo como a la organización. Como resultado de todo ello, se extiende entre los ejecutivos la profunda sensación de que, por más que trabajen, la situación está fuera de control.

CAMBIO Y COMPLEJIDAD

La causa fundamental de ese profundo malestar entre los ejecutivos es, al parecer, la enorme complejidad que ha ido adquiriendo la sociedad industrial contemporánea, hasta convertirse en una de sus principales características. En los comienzos de este nuevo siglo nos rodean imponentes estructuras de abrumadora complejidad que invaden poco a poco casi todos los aspectos de nuestra vida. Tantas situaciones nuevas y complejas eran difíciles de predecir tan sólo medio siglo atrás: globalización del comercio y las comunicaciones, comunicación instantánea mundial mediante redes electrónicas cada vez más complejas, organizaciones multinacionales gigantescas, fábricas automatizadas, etcétera.

La complejidad que experimentamos al contemplar esas maravillas de las tecnologías industriales e informativas no está exenta de cierta sensación de desasosiego, cuando no de franca incomodidad. Aunque esos complejos sistemas reciben continuas alabanzas por su creciente perfección, se va extendiendo la idea de que han traído consigo un entorno comercial y organi-

zativo prácticamente irreconocible desde el punto de vista de la teoría y la práctica de la gestión empresarial tradicional.

Como si todo eso no fuera ya de por sí suficientemente alarmante, resulta cada vez más evidente que nuestros complejos sistemas industriales, tanto organizativos como tecnológicos, constituyen la causa principal de la destrucción del medio ambiente a escala planetaria, así como la amenaza más grave para la supervivencia a largo plazo de la humanidad. A fin de construir una sociedad sostenible para nuestros hijos, y para las generaciones venideras, será preciso que rediseñemos por completo muchas de nuestras tecnologías e instituciones sociales, así como que seamos capaces de salvar el abismo actual entre el diseño humano y los sistemas ecológicamente sostenibles de la naturaleza.¹

Las organizaciones necesitan cambios profundos, tanto para adaptarse al nuevo entorno empresarial como para llegar a ser ecológicamente sostenibles. Este doble reto es real y urgente, por lo que el amplio debate actual sobre el cambio organizativo está plenamente justificado. Sin embargo, a pesar de ese debate y de algunos éxitos anecdóticos en la transformación de ciertas organizaciones, el balance general es extremadamente pobre. En recientes encuestas los ejecutivos respondieron una y otra vez que sus esfuerzos por introducir cambios organizativos no daban los frutos prometidos. En lugar de dirigir organizaciones nuevas, acababan enfrentándose a los efectos colaterales indeseables de sus esfuerzos.²

A primera vista, esta situación parece paradójica. Cuando contemplamos el entorno natural que nos rodea, vemos que el cambio, la adaptación y la creatividad son constantes. Nuestras organizaciones empresariales, sin embargo, parecen incapaces de adaptarse a él. A lo largo de los años, he llegado a darme cuenta de que las raíces de esta paradoja residen en la naturaleza dual de las organizaciones humanas.³ Por un lado, existen organizaciones sociales diseñadas para propósitos específicos, como producir rendimientos para sus accionistas, manejar la distribución del poder político, transmitir conocimiento o di-

fundir alguna fe religiosa. Al mismo tiempo, las organizaciones son comunidades de personas que interaccionan para establecer relaciones, apoyarse mutuamente y dar sentido a sus actividades cotidianas a nivel personal.

A esos dos aspectos de las organizaciones corresponden dos clases de cambio muy distintas. Gran parte del desencanto de los altos ejecutivos ante el resultado de sus esfuerzos para lograr cambios se debe a que ven a sus empresas como instrumentos diseñados para conseguir propósitos específicos, de modo que cuando tratan de cambiar su diseño esperan cambios predecibles y cuantificables en toda la estructura. Sin embargo, la estructura diseñada se entrecruza siempre con los individuos y las comunidades vivas de la organización, para los cuales el cambio no puede ser diseñado.

Se oye a menudo que el personal de las organizaciones se resiste al cambio. En realidad, a lo que se resiste la gente no es al cambio, sino a que se le impongan determinados cambios. Como organismos vivos, los individuos y sus comunidades permanecen estables por más que estén sujetos al cambio y al desarrollo, pero sus procesos naturales de cambio son muy distintos a los cambios organizativos, diseñados por expertos en «reingeniería» y decretados desde arriba.

Para resolver el problema del cambio organizativo, necesitamos comprender antes los procesos de cambio naturales inherentes a todo sistema vivo. Una vez lo hayamos logrado, podremos comenzar a diseñar, en consecuencia, los procesos de cambio organizativo creando organizaciones humanas que reflejen la adaptabilidad, la diversidad y la creatividad de la propia vida.

Según la comprensión sistémica de la vida, los sistemas vivos se crean o se recrean a sí mismos sin cesar, mediante la transformación o sustitución de sus componentes. Sufren cambios estructurales continuos al mismo tiempo que preservan sus patrones de organización en forma de red.⁴ Comprender la vida significa comprender los procesos de cambio inherentes a ella. Sólo cuando lleguemos a comprender claramente hasta

qué punto y en qué formas están vivas las organizaciones humanas podremos plantearnos el cambio organizativo desde una nueva luz. Como resumen los teóricos organizativos Margaret Wheatley y Myron Kellner-Rogers: «La vida es la mejor maestra para el cambio.»⁵

Siguiendo a Wheatley y Kellner-Rogers, propongo una solución sistémica al problema del cambio organizativo que, como muchas otras soluciones sistémicas, no resuelve únicamente un problema, sino muchos más. Es muy probable que comprender las organizaciones humanas en términos de los sistemas vivos, es decir, en términos de redes complejas no lineales, conduzca a nuevas perspectivas en la naturaleza de la complejidad y nos ayude, por consiguiente, a abordar las complejidades del actual entorno empresarial.

Y, lo que es más, nos ayudará también, sin duda, a diseñar organizaciones empresariales ecológicamente sostenibles, puesto que los principios de organización de los ecosistemas, que constituyen la base de la sostenibilidad, son idénticos a los de todo sistema vivo. Parece, pues, que la comprensión de las organizaciones humanas como sistemas vivos constituye uno de los retos fundamentales de nuestro tiempo.

Existe una razón adicional que hace que la comprensión sistémica de la vida tenga importancia capital para la gestión de empresas en la actualidad. A lo largo de las últimas décadas hemos asistido a la emergencia de una nueva economía, decisivamente moldeada por las tecnologías de la comunicación y de la información, en la que el proceso de la información y la creación de conocimientos técnicos y específicos constituyen las fuentes principales de la productividad.⁶ Según la teoría económica clásica, las fuentes primordiales de riqueza son los recursos naturales (la tierra, en particular), el capital y la fuerza laboral. La productividad es el resultado de la combinación eficaz de esos tres componentes mediante la gestión y la tecnología. En la economía actual tanto la gestión como la tecnología están crucialmente ligadas a la creación de conocimientos. Los incrementos en la producción no vienen ya de la fuerza laboral, sino

de la capacidad de equiparla con nuevas habilidades, basadas en el conocimiento. Por consiguiente, la «gestión del conocimiento», el «capital intelectual» y el «aprendizaje organizativo» se han convertido en nuevos e importantes conceptos para la teoría de la gestión empresarial.⁷

Según la visión sistémica de la vida, la emergencia espontánea de orden y la dinámica de acoplamiento estructural, cuyos resultados son los continuos cambios estructurales característicos de todo sistema vivo, constituyen el fenómeno básico subyacente en el proceso de aprendizaje.⁸ Es más, ya hemos visto que la creación de conocimientos en las redes sociales es una característica clave de la dinámica de la cultura.⁹ Combinar estas ideas y aplicarlas al aprendizaje organizativo nos capacita para esclarecer las condiciones en las que tienen lugar el aprendizaje y la creación de conocimientos, de lo que pueden derivarse importantes pautas para la gestión de las organizaciones orientadas al conocimiento de nuestros días.

LAS METÁFORAS EN LA GESTIÓN EMPRESARIAL

La idea fundamental de la gestión empresarial, subyacente tanto en su teoría como en su práctica, es la de dirigir la organización en una dirección consistente con sus objetivos y sus propósitos.¹⁰ En el caso de las organizaciones empresariales, estos objetivos son prioritariamente financieros, y, por consiguiente, como señala el teórico de la gestión Peter Block, las principales ocupaciones de la dirección empresarial son la definición de propósitos, el uso del poder y la distribución de la riqueza.¹¹

Para dirigir eficazmente una organización, sus dirigentes tienen que saber con cierto detalle cómo funciona, y, puesto que los procesos y patrones relevantes en la organización pueden ser muy complejos, en particular en las grandes corporaciones de nuestros días, sus administradores han utilizado tradicionalmente metáforas para trazar amplias perspectivas generales. El teórico de la organización Gareth Morgan ha analizado estas

metáforas clave en un libro esclarecedor, titulado *Images of Organization*. Según Morgan: «El medio de la organización y la gestión empresariales es la metáfora. La teoría y la práctica de la gestión empresarial están conformadas por un proceso metafórico que influye virtualmente en todo lo que hacemos.»¹²

Las metáforas clave que Morgan analiza incluyen las organizaciones como máquinas (con el acento en el control y la eficacia), como organismos (desarrollo, adaptación), como cerebros (aprendizaje organizativo), como culturas (valores y creencias) y como sistemas de gobierno (conflictos de interés, poder). Desde el punto de vista de nuestro marco conceptual, vemos que las metáforas de los organismos y los cerebros se refieren, respectivamente, a las dimensiones biológicas y cognitivas de la vida, mientras que las de las culturas y los gobiernos representan diversos aspectos de la dimensión social. El mayor contraste surge entre la metáfora de las organizaciones como máquinas y las de las organizaciones como sistemas vivos.

Es mi intención ir más allá del nivel metafórico y averiguar hasta qué punto pueden las organizaciones humanas ser comprendidas, literalmente, como sistemas vivos. Pero antes nos será de utilidad revisar la historia y las características principales de la metáfora como máquina, que forma parte del paradigma, mucho más amplio, formulado por Descartes y Newton en el siglo XVII y que ha dominado nuestra cultura durante siglos, en los que ha moldeado la sociedad occidental y ha influido considerablemente en el resto del mundo.¹³

La visión del universo como sistema mecánico compuesto por elementos básicos ha conformado nuestra percepción de la naturaleza, del organismo humano y de la sociedad y, por ende, también de las organizaciones empresariales. Las primeras teorías mecanicistas de la gestión empresarial datan de principios del siglo XX. En ellas las organizaciones eran descritas como conjuntos de piezas engarzadas con precisión –departamentos clasificados por funciones como producción, marketing, finanzas o personal– y unidas por medio de líneas claramente definidas de mando y comunicación.¹⁴

Esta visión de la gestión como ingeniería, basada en un diseño técnico preciso, fue perfeccionada por Frederick Taylor, un ingeniero cuyos «principios de gestión empresarial científica» constituyeron la piedra angular de la teoría dominante en ese campo durante la primera mitad del siglo XX. Como señala Gareth Morgan, el taylorismo, en su versión original, sigue aún vivo en numerosas cadenas de comida rápida de todo el mundo. En esos restaurantes mecanizados que sirven hamburguesas, pizzas y otros productos altamente estandarizados,

el trabajo está a menudo organizado hasta el más mínimo detalle según un diseño que analiza la totalidad del proceso de producción, encuentra los procedimientos más eficaces y luego los asigna como tareas específicas a personas formadas para realizarlas de manera muy precisa. La totalidad del trabajo intelectual corre a cargo de directivos y organizadores, y el meramente manual queda reservado para los empleados.¹⁵

Los principios de la teoría clásica de la gestión empresarial se han incrustado tan profundamente en nuestra forma de concebir las organizaciones, que, para la mayoría de sus dirigentes, el diseño de estructuras formales unidas por líneas claras de comunicación, coordinación y control se ha convertido casi en una segunda naturaleza. Como veremos más adelante, esta adaptación inconsciente del enfoque mecanicista a la gestión empresarial constituye uno de los principales obstáculos actuales para el cambio organizativo.

Para apreciar el profundo impacto de la metáfora de las organizaciones como máquinas en la teoría y la práctica de la gestión empresarial, contrastémosla con la visión de la organización como sistema vivo, por el momento al nivel estrictamente metafórico. El teórico de la organización Peter Senge, uno de los principales defensores del pensamiento sistémico y de la idea de «organización que aprende» en los círculos estadounidenses de gestión empresarial, ha reunido una relación impresionante de las implicaciones que esas dos metáforas tienen

para las organizaciones. Para acentuar el contraste entre ambas, Senge describe la primera como una «máquina de hacer dinero» y la segunda como un «ser vivo».¹⁶

Una máquina es diseñada por unos ingenieros para un fin determinado, y pertenece a alguien que tiene libertad para venderla cuando lo estime conveniente, características que expresan a la perfección la visión mecanicista de la organización, que implica que la empresa es creación y propiedad de personas ajenas al sistema. Su estructura y sus objetivos están diseñados por ejecutivos o por expertos externos y les son impuestos a la organización. Sin embargo, al contemplar la organización como un ser vivo, la cuestión de la propiedad se torna problemática. «La mayoría de la gente», señala Senge, «consideraría fundamentalmente inmoral la idea de que una persona poseyera a otra.»¹⁷ Si las organizaciones fueran realmente comunidades vivas, comprarlas y venderlas sería el equivalente de la esclavitud; someter la vida de sus miembros a objetivos predeterminados sería considerado algo deshumanizador.

Para funcionar adecuadamente, la máquina tiene que ser controlada por sus operadores, de modo que funcione según sus instrucciones. De acuerdo con esto, todo el énfasis de la teoría clásica de la gestión empresarial se inclina hacia el logro de operaciones eficaces mediante un control de arriba abajo. Los seres vivos, en cambio, actúan de forma autónoma. Nunca podrán ser controlados como las máquinas. Tratar de hacerlo equivale a privarlos de su condición de ser vivo.

Ver la empresa como una máquina implica también que en algún momento se estropeará, a menos que sea periódicamente revisada y mantenida por sus directivos. No puede cambiar por sí misma; todos los cambios tienen que ser diseñados y ejecutados desde fuera de ella. Por el contrario, verla como un ser vivo implica que es capaz de autorregenerarse y que cambiará y evolucionará de forma natural.

«La metáfora de la máquina es tan poderosa», concluye Senge, «que condiciona el carácter de la mayoría de las organizaciones. Acaban pareciéndose más a una máquina que a un ser

vivo porque sus miembros *creen* que lo es.»¹⁸ El enfoque mecanicista de la gestión empresarial ha tenido, sin duda, mucho éxito en el aumento de la eficiencia y de la productividad, pero también ha tenido como consecuencia una creciente animadversión hacia las organizaciones dirigidas como si fueran máquinas. La razón es evidente: a casi nadie le gusta ser tratado como un engranaje más.

Al observar el contraste entre ambas metáforas –máquina frente a ser vivo– resulta evidente que el estilo de gestión empresarial inspirado por la metáfora de la máquina no podrá evitar tener problemas con el cambio organizativo. La necesidad de que todos los cambios sean previamente diseñados por la dirección, e impuestos luego a toda la organización, tiende a generar rigidez burocrática. En la metáfora de la máquina no queda espacio para las adaptaciones flexibles, para el aprendizaje ni para la evolución. Está claro que las organizaciones regidas de forma estrictamente mecanicista no pueden sobrevivir en el actual entorno empresarial, complejo, orientado al conocimiento y rápidamente cambiante.

Peter Senge expuso su comparación de ambas metáforas en el prólogo de un libro notable, titulado *The Living Company*.¹⁹ Su autor, Arie de Geus, ex ejecutivo de la Shell, se plantea la cuestión de la naturaleza de las organizaciones empresariales desde un ángulo interesante. En los años ochenta, De Geus dirigió para el grupo Shell un estudio que consideraba la cuestión de la longevidad empresarial. Junto con sus compañeros de equipo, De Geus analizó grandes corporaciones que llevaban más de un siglo de existencia, que habían sobrevivido a los cambios ocurridos en el mundo a su alrededor y seguían floreciendo manteniendo intacta su identidad corporativa.

El estudio analizó veintisiete corporaciones longevas halló en todas ellas ciertos caracteres comunes,²⁰ lo cual llevó a De Geus a la conclusión de que las empresas que tienen un comportamiento y ciertas características que las hacen semejantes a las entidades vivas son las más flexibles y duraderas. Básicamente, De Geus y su equipo identificaron dos conjuntos de caracte-

terísticas. El primero consiste en un fuerte sentido de comunidad e identidad colectiva en torno a una serie de valores comunes; una comunidad en la que sus miembros saben que serán apoyados en sus esfuerzos por alcanzar sus propios objetivos. El segundo conjunto reúne las características de apertura al mundo exterior, tolerancia a la entrada de nuevos miembros y nuevas ideas y, por consiguiente, una manifiesta capacidad para aprender y adaptarse a nuevas circunstancias.

De Geus contrasta los valores de la empresa que aprende, cuyo propósito principal consiste en sobrevivir y prosperar a largo plazo, con los de la «empresa económica» convencional, cuyas prioridades están determinadas por criterios puramente económicos. De Geus asegura que «la gran diferencia entre ambas definiciones de empresa –la económica y la que aprende– constituye el núcleo fundamental de la crisis a la que se enfrenta el ejecutivo de nuestros días». ²¹ Para superar esa crisis –sugiere De Geus– los directivos deberían «cambiar sus prioridades: en vez de dedicar sus empresas a la optimización del capital, deberían dedicarlas a optimizar a las personas». ²²

LAS REDES SOCIALES

Según De Geus, mientras sus directivos la consideren viva y cambien en consecuencia su estilo de gestión, importa poco determinar si la «empresa viva» es, simplemente, una metáfora útil o si las organizaciones empresariales son realmente sistemas vivos. De Geus urge también a los altos ejecutivos a elegir entre la imagen de «empresa viva» y la de «empresa económica», que parece bastante artificial. Una empresa es, sin duda, una entidad legal y económica que, en cierto sentido, parece estar viva. El reto consiste en integrar ambos aspectos de las organizaciones humanas. En mi opinión, este desafío resultará mucho más fácil de afrontar cuando logremos determinar en qué grado, exactamente, están vivas las organizaciones.

Como hemos visto, los sistemas sociales vivos son redes de comunicaciones autogénicas,²³ lo cual significa que una organización humana sólo será un sistema vivo si está organizada como red, o si contiene redes más pequeñas en su interior. De hecho, las redes se han convertido en un centro preferente de atención, no tan sólo para el mundo de los negocios, sino también para la sociedad en general, y permean la cultura global emergente.

En pocos años Internet se ha convertido en una poderosa red global de comunicaciones, y muchas de las nuevas empresas de Internet actúan como interfaces entre redes de consumidores y de proveedores. Cisco Systems, una empresa con sede en San Francisco que es la mayor proveedora de conmutadores y routers para Internet, pero que durante muchos años no tuvo ni una sola fábrica, constituye un ejemplo pionero. Básicamente, lo que Cisco hace es producir y gestionar información a través de su sitio en la red, mediante el cual establece contactos entre clientes y proveedores y aporta su experiencia.²⁴

La mayoría de las grandes corporaciones de nuestros días existen como redes descentralizadas de unidades más pequeñas. Además, por un lado, están conectadas a redes de pequeñas y medianas empresas que les sirven de proveedores y subcontratistas, mientras que, por otro, unidades pertenecientes a distintas corporaciones establecen alianzas estratégicas temporales y emprenden operaciones conjuntas. Las diversas partes de esas redes se recombinan y entrecruzan continuamente y cooperan y compiten a la vez las unas con las otras.

Las organizaciones sin ánimo de lucro y las organizaciones no gubernamentales (ONG) han establecido redes parecidas. Dentro de las escuelas los maestros se interconectan cada vez más a través de redes electrónicas, que a veces se extienden a otros centros de enseñanza, las cuales incluyen también a los padres de sus alumnos y a diversas organizaciones que proporcionan apoyo educativo. Por otra parte, el trabajo en red constituye una de las principales actividades de los movimientos políticos de base desde hace ya bastantes años. El ecologista, el de

defensa de los derechos humanos, el feminista y el pacifista, entre muchos otros movimientos de base, se han organizado en redes que trascienden las fronteras nacionales.²⁵

En el año 1999 centenares de esas organizaciones de base se interconectaron electrónicamente durante meses para preparar acciones de protesta conjuntas con ocasión de la cumbre de la OMC en Seattle. La Coalición de Seattle consiguió un éxito extraordinario al impedir el normal desarrollo de la reunión, que le permitió dar a conocer al mundo sus puntos de vista. Sus acciones concertadas, basadas en estrategias de red, han cambiado para siempre el clima que rodea la cuestión de la globalización económica.²⁶

Estos hechos recientes dejan claro que las redes se han convertido en uno de los fenómenos sociales más notorios de nuestros tiempos. El análisis de la red social se ha consolidado como un nuevo enfoque de la sociología, y es empleado en la actualidad por muchos científicos para el estudio de las relaciones sociales y de la naturaleza de las comunidades.²⁷ En un nivel superior, el sociólogo Manuel Castells argumenta que la reciente revolución de la tecnología de la información ha dado pie a una nueva economía, estructurada en redes financieras globales que giran en torno a los flujos de información, poder y riqueza. Castells señala asimismo que la red permea la sociedad y se ha convertido en una nueva forma de organización de la actividad humana, lo que ha movido a este sociólogo a acuñar el término de «sociedad en red» para describir y analizar esta nueva estructura social.²⁸

COMUNIDADES DE PRÁCTICA

Gracias a las nuevas tecnologías de la información y la comunicación las redes sociales se han vuelto omnipresentes, tanto dentro de las organizaciones como fuera de ellas. Sin embargo, para que una organización esté viva no basta con la existencia de redes sociales, sino que también es necesario que éstas reúnan

determinadas características. Como hemos visto, las redes vivas son autogénicas. Cada comunicación crea en ellas pensamientos y significado, lo que da lugar a nuevas comunicaciones. De este modo la red se autogenera, crea un contexto común de significado, conocimientos compartidos y normas de conducta, y proporciona a sus miembros una identidad colectiva y un ámbito claramente delimitado que sienten como propio.

El teórico de la organización Etienne Wenger denomina «comunidades de práctica» a estas redes sociales autogénicas; con este término se refiere al contexto común de significado, más que al patrón de organización a través del cual éste se genera. «A medida que los individuos se empeñan a lo largo del tiempo en una empresa común», explica Wenger, «van desarrollando una práctica común, es decir, formas de hacer las cosas y de relacionarse compartidas, que les permiten alcanzar el objetivo común deseado. Con el paso del tiempo, esta práctica común resultante acaba convirtiéndose en un vínculo reconocible entre los implicados.»²⁹

Wenger subraya que existen numerosas clases distintas de comunidades, del mismo modo que existen numerosas clases distintas de redes sociales. Un barrio residencial, por ejemplo, recibe a menudo el nombre de comunidad. De forma parecida, hablamos de la «comunidad legal» o de la «comunidad médica». Sin embargo, en estos casos no se trata de comunidades de práctica dotadas de la dinámica característica de las redes de comunicaciones autogénicas.

Según Wenger, la comunidad de práctica se caracteriza por tres aspectos: implicación mutua de sus miembros, empresa común y —con el paso del tiempo— repertorio compartido de hábitos, normas tácitas de conducta y conocimiento.³⁰ En términos de nuestro marco conceptual, podemos ver que la implicación mutua se refiere a la dinámica de la red de comunicaciones autogénica, que la empresa común equivale al propósito y al significado comunes, y que el repertorio compartido se corresponde con la coordinación de comportamiento resultante y con el conocimiento compartido.

La generación de un contexto común de significado, conocimiento compartido y normas de conducta caracteriza lo que, en páginas precedentes, he denominado «dinámica de la cultura»,³¹ la cual incluye, en particular, la creación de un ámbito de significado y, por ende, de una identidad entre los miembros de la red social, basada en el sentido de pertenencia, que constituye la característica definitoria de la comunidad. Según Arie de Geus, en el turbulento mundo de los negocios de nuestros días, el profundo sentimiento por parte de los empleados de una empresa de pertenecer a la organización e identificarse con sus objetivos —en otras palabras, un profundo sentido de comunidad— es esencial para la supervivencia de las empresas.³²

En nuestras actividades cotidianas, casi todos pertenecemos a diversas comunidades de práctica. Ya sea en el trabajo, en la escuela, en los deportes, en las aficiones, o en la vida social. Algunas de ellas tienen nombres y estructuras formales, mientras que otras puede que sean tan informales que ni siquiera estén identificadas como comunidades. Sea cual fuere su status, las comunidades de práctica son parte integrante de nuestra vida. Por lo que se refiere a las organizaciones humanas, podemos ver que su naturaleza dual como entidades legales y económicas, por un lado, y comunidades de personas, por otro, deriva del hecho de que, dentro de las estructuras formales de la organización, surgen y se desarrollan invariablemente diversas comunidades de práctica. Se trata de redes informales —alianzas y amistades, canales informales de comunicación («radio macuto») u otras redes más o menos enmarañadas de relaciones— que continuamente crecen, cambian y se adaptan a nuevas situaciones. En palabras de Etienne Wenger:

Para realizar su trabajo, los empleados organizan su vida con sus compañeros más próximos y con sus clientes. Al hacerlo, desarrollan o preservan un sentido de sí mismos con el que pueden convivir, divertirse un poco y satisfacer las necesidades de sus empresas y de sus clientes. Sea cual fuere la descripción oficial de su puesto de trabajo, crean una práctica

para llevar a cabo lo que hay que hacer. Aunque estén contratados por una gran institución, en la práctica diaria trabajan con –y, en cierto sentido, para– un número mucho más reducido de personas y comunidades.³³

En el seno de cada organización hay un conjunto de comunidades de práctica interconectadas. Cuanto mayor sea el número de personas implicadas en esas redes informales y más desarrolladas y complejas sean éstas, más capacitada estará la organización para aprender, para responder creativamente a circunstancias nuevas inesperadas, para cambiar y para evolucionar. En otras palabras, la vitalidad de la organización reside en sus comunidades de práctica.

LA ORGANIZACIÓN VIVA

Para maximizar el potencial creativo y la capacidad de aprendizaje de una empresa, es crucial que sus directivos y ejecutivos comprendan la interrelación entre sus estructuras formales y diseñadas y sus redes informales autogénicas.³⁴ Las estructuras formales son conjuntos de normas y reglas que definen las relaciones entre personas y tareas y determinan asimismo la distribución del poder. Los límites son establecidos mediante acuerdos contractuales que delinean subsistemas (departamentos) y funciones bien definidos. Las estructuras formales se describen en los documentos oficiales de la organización –diagramas organizativos, reglamentos internos, manuales y presupuestos–, que establecen su política, sus estrategias y sus procedimientos.

Por el contrario, las estructuras informales son redes de comunicaciones fluidas y fluctuantes.³⁵ Esas comunicaciones incluyen formas no verbales de implicación mutua en una tarea común a través de la cual se intercambian habilidades y se genera el conocimiento compartido. La práctica compartida crea espacios limitados de significado flexible, a menudo no expre-

sados verbalmente. El signo distintivo de pertenencia a una red puede ser algo tan simple como la capacidad para seguir una conversación o estar al corriente del último chisme.

Las redes informales de comunicación se encarnan físicamente en las personas que se implican en la práctica común. Cuando entra en ella gente nueva, la red puede reconfigurarse; cuando alguien se va, la red cambiará de nuevo, o incluso llegará a quebrarse. En la organización formal, en cambio, las funciones y las relaciones de poder son más importantes que las personas, por lo que persisten en el tiempo aunque éstas cambien.

En toda organización existe una constante interrelación entre sus redes informales y sus estructuras formales. Las políticas y los procedimientos formales son siempre filtrados y modificados por las redes informales, lo cual permite a los empleados usar su creatividad al enfrentarse a situaciones nuevas o inesperadas. El poder de esta interrelación resulta sorprendentemente evidente cuando los empleados hacen una huelga de celo. Al trabajar estrictamente según los manuales y procedimientos oficiales, causan un serio perjuicio al funcionamiento de la organización. La situación ideal se da cuando la organización formal reconoce y apoya sus redes informales de relaciones, e incorpora las innovaciones de éstas a sus propias estructuras.

Como ha quedado dicho, la fuerza vital de una organización –su flexibilidad, su potencial creativo y su capacidad de aprendizaje– reside en sus comunidades de práctica informales. Las partes formales de la organización estarán más o menos «vivas» en función de su proximidad a las redes informales. Los dirigentes experimentados saben cómo trabajar con la organización informal. Lo típico es que dejen que las estructuras formales se ocupen del trabajo rutinario, y confíen a la organización informal todo aquello que trascienda la rutina habitual. También es posible que comuniquen información crítica a individuos clave, conscientes de que de este modo circulará y será debatida en los canales informales.

Estas consideraciones implican que el modo más eficaz de expandir el potencial de una organización para la creatividad y el aprendizaje, así como para mantenerla no sólo viva, sino también llena de vitalidad, consiste en apoyar y reforzar sus comunidades de práctica. El primer paso en este empeño será proporcionar el espacio social necesario para que las comunicaciones informales puedan medrar. Algunas empresas habilitan cafeterías para estimular encuentros informales. Con el mismo propósito, otras utilizan boletines, la circular informativa de la empresa, una biblioteca especial, retiros en el campo o chats virtuales. Si se les da suficiente publicidad dentro de la empresa para que quede patente el apoyo de la dirección, esas medidas liberarán las energías del personal, estimularán la creatividad y pondrán en marcha procesos de cambio.

APRENDER DE LA VIDA

Cuanto más sepan los directivos acerca de los procesos detallados implícitos en las redes sociales autogenéticas, más eficaces serán en su trabajo con las comunidades de práctica de su organización. Pasemos, pues, a considerar qué clase de lecciones para la dirección pueden derivarse de la comprensión sistémica de la vida.³⁶

Una red viva responde a las perturbaciones con cambios estructurales, y elige a qué perturbaciones responder y a cuáles no.³⁷ Aquello de lo que las personas se den cuenta dependerá de quiénes son como individuos, así como de las características culturales de sus comunidades de práctica. Un mensaje les llegará no tan sólo por su volumen y su frecuencia, sino también porque tendrá sentido para ellas.

Los directivos de orientación mecanicista tienden a aferrarse a la creencia de que pueden controlar la organización si conocen cómo encajan unas en otras sus diferentes partes. Incluso la experiencia cotidiana de que el comportamiento de la gente contradice esas expectativas no consigue hacerles dudar de su

presunción fundamental. Antes al contrario, los mueve a estudiar con mayor detalle los mecanismos de la gestión, para tratar de controlar a su personal.

Nos estamos ocupando aquí de una diferencia crucial entre un sistema vivo y una máquina. La máquina puede ser controlada; el sistema vivo, según la comprensión sistémica de la vida, sólo puede ser perturbado. En otras palabras, las organizaciones no pueden ser controladas mediante intervenciones directas, pero puede influirse en ellas dándoles impulsos, más que instrucciones. Cambiar el estilo convencional de la gestión empresarial requiere un cambio de percepción que no tiene nada de fácil, pero que reserva grandes recompensas. Trabajar con los procesos inherentes a los sistemas vivos significa que no necesitamos gastar grandes cantidades de energía para hacer funcionar una organización. No hace falta tirar de ella, empujarla o coaccionarla para conseguir que cambie. No se trata de una cuestión de fuerza o de energía, sino de significado. Las perturbaciones significativas captarán la atención de la organización y desencadenarán cambios estructurales.

Dar impulsos significativos en vez de instrucciones precisas tal vez suene demasiado ambiguo a unos ejecutivos acostumbrados a esforzarse por conseguir eficacia y unos resultados predecibles, pero es bien sabido que las personas inteligentes y despiertas raramente cumplen las instrucciones al pie de la letra, sino que las modifican y reinterpretan ignorando algunas partes y añadiendo otras de su propia cosecha. En ocasiones tal vez se limite a un cambio en el énfasis, pero la gente responde siempre con versiones propias a las instrucciones originales.

Eso suele ser interpretado como resistencia, o incluso como sabotaje, pero también podría serlo de forma muy distinta. Los sistemas vivos eligen siempre a qué responder y qué ignorar. Cuando alguien modifica unas instrucciones, responde creativamente a una perturbación, puesto que ésa es, precisamente, la esencia de estar vivo. Mediante sus respuestas creativas las redes vivas dentro de la organización generan y comunican significado y subrayan su libertad para recrearse continuamente a sí mis-

mas. Incluso una respuesta pasiva, o pasivo-agresiva, es una forma de expresar la creatividad. El estricto cumplimiento sólo es posible a cambio de robarles a las personas su vitalidad y convertirlas en robots apáticos y desleales. Esta reflexión es particularmente importante para las organizaciones actuales, basadas en el conocimiento, en las que la lealtad, la inteligencia y la creatividad son los activos más valiosos.

La nueva comprensión de la resistencia al cambio organizativo dictado puede resultar muy beneficiosa, en la medida en que nos permite trabajar con la creatividad de las personas, en lugar de ignorarla, y transformarla en una fuerza positiva. Si implicamos a la gente en el proceso de cambio desde el principio, «elegirá ser perturbada», puesto que entonces el proceso tendrá sentido para ella. Según Wheatley y Kellner-Rogers:

No nos queda otra opción que invitar a la gente al proceso de repensar, rediseñar y reestructurar la organización. Ignorar la necesidad de participar de la gente nos perjudica. Si se siente implicada, la gente creará un futuro del que se sentirá partícipe. No hace falta perder el tiempo en esfuerzos estériles y agotadores para «venderle» la solución, conseguir que «se enrole» o diseñar incentivos que tal vez compren su voluntad para cumplir determinados comportamientos [...] Según nuestra experiencia, cada vez que *imponemos* cambios a la organización, en lugar de imaginar cómo implicar a la gente en su creación, es necesaria una lucha tremenda para ponerlos en práctica. [...] [Por otro lado] hemos comprobado que esa puesta en práctica ha sido muy rápida cuando la gente ha sido previamente implicada en los cambios.³⁸

La tarea consiste en hacer que el proceso de cambio tenga sentido para la gente desde el principio, a fin de conseguir así su participación y proporcionarle un entorno en el que su creatividad pueda florecer.

Ofrecer impulsos y principios guía en vez de impartir instrucciones estrictas implica, evidentemente, cambios significa-

tivos en las relaciones de poder, pasar de la dominación y el control a la cooperación y la asociación. Ésa es también una de las implicaciones fundamentales de la nueva comprensión de la vida. En los últimos años los biólogos y los ecólogos han comenzado a cambiar sus metáforas de jerarquías a redes y han llegado a percatarse de que la asociación —la tendencia a asociarse, a establecer vínculos, a cooperar y a mantener relaciones simbióticas— es una de las características principales de la vida.³⁹

En términos de nuestro análisis precedente del poder, podríamos decir que el cambio de la dominación a la asociación corresponde al cambio del poder coercitivo —que utiliza amenazas y sanciones para asegurarse la obediencia— y el poder compensatorio —que ofrece incentivos financieros y recompensas— al poder condicionado, que trata de dar sentido a las instrucciones mediante la persuasión y la educación.⁴⁰ Incluso en organizaciones tradicionales el poder personificado por las estructuras formales de la organización está siendo siempre filtrado, modificado o subvertido por comunidades de práctica que crean sus propias interpretaciones, al mismo tiempo que las órdenes descienden por la jerarquía organizativa.

EL APRENDIZAJE ORGANIZATIVO

Dada la importancia crucial de la tecnología de la información en el mundo actual de los negocios, los conceptos de gestión del conocimiento y de aprendizaje organizativo se han convertido en el centro de la atención de la teoría de la gestión empresarial. La naturaleza exacta del aprendizaje organizativo ha sido objeto de apasionado debate. ¿Es una organización que aprende un sistema social capaz de aprender, o es más bien una comunidad que estimula y apoya el aprendizaje de sus miembros? En otras palabras, ¿es el aprendizaje un fenómeno estrictamente individual, o es también social?

En su notable obra *Corporate Knowledge* el teórico de la

organización Ilkka Tuomi revisa y analiza las contribuciones recientes a ese debate y propone asimismo una teoría integradora de la gestión del conocimiento.⁴¹ El modelo de Tuomi para la creación de conocimiento se basa en los trabajos precedentes de Ikujiro Nonaka, que introdujo en la teoría de la gestión empresarial el concepto de «empresa creadora de conocimiento» y ha sido uno de los principales contribuyentes al nuevo campo de la gestión del conocimiento.⁴² Los puntos de vista de Tuomi sobre aprendizaje organizativo son perfectamente compatibles con las ideas expuestas en las páginas precedentes. De hecho, opino que la comprensión sistémica de la consciencia reflexiva y de las redes sociales puede contribuir notablemente a aclarar la dinámica del aprendizaje organizativo.

Según Nonaka y su colaborador Hirotaka Takeuchi:

En sentido estricto, el conocimiento es creado exclusivamente por individuos [...] Por consiguiente, la creación de conocimiento organizativo debería ser entendida como un proceso que «amplifica» organizativamente el conocimiento creado por los individuos y lo hace cristalizar como parte de la red de conocimiento de la organización.⁴³

En el corazón del modelo de creación de conocimiento de Nonaka y Takeuchi subyace la distinción entre conocimiento explícito y conocimiento tácito, planteada en los ochenta por el filósofo Michael Polanyi. Mientras que el primero puede ser comunicado y documentado a través del lenguaje, el segundo se adquiere mediante la experiencia y permanece a menudo intangible. Nonaka y Takeuchi argumentan que, si bien el conocimiento es siempre creado por individuos, puede ser sacado a la luz y expandido por la organización a través de las interacciones sociales, en las que el conocimiento tácito es transformado en conocimiento explícito. Por consiguiente, mientras que la creación de conocimiento es un proceso individual, su amplificación y su expansión son procesos sociales que tienen lugar *entre* individuos.⁴⁴

Como señala Tuomi, es del todo imposible separar el conocimiento en dos «paquetes» netamente diferenciados. Según Polanyi, el conocimiento tácito es siempre un requisito previo para el conocimiento explícito, en la medida en que proporciona el contexto de significado a partir del cual quien aprende adquiere el conocimiento explícito. Este contexto implícito, conocido también como «sentido común», que surge de una red de convenciones culturales, es bien conocido por los investigadores que trabajan en inteligencia artificial y constituye para ellos una fuente importante de frustración. Es la razón de que, tras varias décadas de esfuerzos sobrehumanos, no hayan logrado aún programar un ordenador para que comprenda el lenguaje humano de forma significativa.⁴⁵

El conocimiento tácito es creado por la dinámica cultural resultante de una red de comunicaciones (verbales y no verbales), dentro de una comunidad de práctica. El aprendizaje organizativo es, por consiguiente, un fenómeno social, en la medida en que el conocimiento tácito en que se basa es generado colectivamente. Es más, los científicos de la cognición se han dado cuenta de que incluso la creación de conocimiento explícito tiene una dimensión social, debido a la naturaleza intrínsecamente social de la consciencia reflexiva.⁴⁶ La comprensión sistémica de vida y cognición demuestra claramente que el aprendizaje organizativo presenta aspectos tanto individuales como sociales.

Estas constataciones presentan importantes implicaciones para el campo de la gestión del conocimiento, puesto que dejan claro que la extendida tendencia a tratar el conocimiento como entidad independiente de la gente y de su contexto social –algo que puede ser replicado, transmitido, cuantificado y tratado– no va a mejorar precisamente el aprendizaje organizativo. Como señala Margaret Wheatley: «Si aspiramos a tener éxito en la gestión del conocimiento, deberemos atender a la dinámica y las necesidades humanas [...] No es el conocimiento el que constituye los activos o el capital, sino la gente.»⁴⁷

La visión sistémica del aprendizaje organizativo refuerza la lección que hemos aprendido de la comprensión de la vida en

las organizaciones humanas: el modo más eficaz de expandir el potencial de aprendizaje de una organización consiste en apoyar y reforzar sus comunidades de práctica. En una organización viva, la creación de conocimiento es algo natural; compartir con amigos y compañeros lo aprendido es humanamente satisfactorio. Como dice Wheatley: «Trabajar para una organización que crea intencionadamente conocimiento constituye una excelente motivación, no porque la organización vaya a ser más rentable, sino porque nuestra vida nos parecerá más valiosa.»⁴⁸

LA EMERGENCIA DE NOVEDAD

Si la vitalidad de una organización reside en sus comunidades de práctica y si creatividad, aprendizaje, cambio y desarrollo son inherentes a todo sistema vivo, ¿cómo se manifiestan estos procesos en las redes y en las comunidades vivas de una organización? Para contestar a esta pregunta deberemos dirigir nuestra atención a una característica clave de la vida, con la que ya nos hemos encontrado repetidamente a lo largo de esta obra: la emergencia espontánea de nuevo orden. El fenómeno de la emergencia tiene lugar en los puntos críticos de inestabilidad que surgen de las fluctuaciones del entorno, amplificadas por bucles de retroalimentación.⁴⁹ La emergencia desemboca en la creación de novedad, a menudo muy distinta del propio fenómeno del que surgió. La generación constante de novedad —el «avance creativo de la naturaleza», como la denominó el filósofo Alfred North Whitehead— constituye una propiedad clave de todo sistema vivo.

En una organización humana, el acontecimiento desencadenante del proceso de emergencia puede ser un comentario banal, que tal vez ni siquiera le parezca importante a la persona que lo hizo, pero que resultó significativo para algunos individuos de la comunidad de práctica. Por haberles resultado significativo ese comentario, esas personas eligieron ser perturbadas

por él, e hicieron circular rápidamente la información a través de las redes de la organización. Al circular a través de diversos bucles de retroalimentación, la información puede amplificarse y expandirse, incluso hasta el extremo de que la organización no pueda ya absorberla en su estado presente. Cuando llega esta situación, se ha alcanzado un punto de inestabilidad. El sistema no puede ya integrar la nueva información en su orden existente, por lo que se ve forzado a abandonar parte de sus estructuras, comportamientos y creencias. El resultado es un estado de caos, confusión, incertidumbre y duda, del cual surgirá una nueva forma de orden, organizada en torno a un nuevo significado. Ese nuevo orden no fue diseñado por nadie, sino que emergió como resultado de la creatividad colectiva de la organización.

Este proceso implica varias etapas diferentes. Para comenzar, para que el proceso se ponga en marcha es necesaria cierta apertura en la organización, que tenga cierta disposición a ser perturbada. Tiene también que existir una red de comunicaciones activa, con múltiples bucles de retroalimentación que amplifiquen el suceso desencadenante. La siguiente etapa consiste en el punto de inestabilidad, que puede ser experimentado como tensión, caos, incertidumbre o crisis. En esta etapa el sistema puede o bien colapsarse o bien superar la crisis y desembocar en un nuevo estado de orden, caracterizado por la novedad y que implica una experiencia de creatividad que a menudo puede parecer mágica.

Observemos más de cerca estas etapas. La apertura inicial a las perturbaciones del entorno es una propiedad fundamental de toda forma de vida. Los organismos vivos necesitan estar abiertos a un flujo constante de recursos (materia y energía) para seguir viviendo, del mismo modo que los flujos de materiales y energía son parte del proceso de producción de bienes y servicios. La apertura de una organización a nuevos conceptos, nuevas tecnologías y nuevo conocimiento constituye el indicador de su vitalidad, de su flexibilidad y de su capacidad para aprender.

La experiencia de la inestabilidad crítica que conduce a la emergencia suele ir acompañada de emociones fuertes –temor, confusión, dudas de sí mismo o dolor–, e incluso puede desembocar en una crisis existencial. Tal fue la experiencia de la pequeña comunidad de físicos cuánticos en los años veinte, cuando su exploración del mundo atómico y subatómico los enfrentó a una extraña e inesperada realidad. En su esfuerzo para comprender la nueva realidad los físicos se dieron dolorosamente cuenta de que sus conceptos básicos, su lenguaje y toda su forma de pensar resultaban inadecuados para describir los fenómenos atómicos. Para muchos de ellos aquel período representó una seria crisis emocional, como describió vívidamente Werner Heisenberg:

Recuerdo discusiones con Bohr que duraban horas y horas, hasta bien entrada la noche, y que acababan casi en desesperación. Cuando esas discusiones terminaban por fin, me iba solo a dar un paseo por el parque y me repetía una y otra vez la misma pregunta: ¿Es realmente posible que la naturaleza sea tan absurda como nos parece en esos experimentos atómicos?⁵⁰

Superar aquella crisis les costó un buen tiempo a los físicos cuánticos, pero la recompensa valía la pena. De sus esfuerzos intelectuales y emocionales nacieron tremendos esclarecimientos sobre la naturaleza del espacio, del tiempo y de la materia, y, con ellos, los cimientos de un nuevo paradigma científico.⁵¹

Esa experiencia de tensión y crisis antes de la emergencia de novedad es bien conocida por los artistas, que a menudo encuentran devastador ese proceso, pero que, a pesar de todo, perseveran en su disciplina y su pasión. En su obra maestra *À la recherche du temps perdu* Marcel Proust nos ofrece un bello testimonio de la agonía creativa del artista:

A menudo no llegamos al paroxismo del sufrimiento, sencillamente, por falta de espíritu creativo. Y la más terrible

realidad nos trae, junto con nuestro sufrimiento, el gozo de un gran descubrimiento, porque, simplemente, da forma nueva y clara a lo que llevábamos largo tiempo rumiando sin sospecharlo.⁵²

Por supuesto, no todas las experiencias de crisis y emergencia tienen que ser tan dramáticas. Ocurren con gran variedad de intensidades, que van desde pequeñas y fugaces intuiciones a transformaciones vivificantes. Sin embargo, todas ellas tienen en común una sensación de incertidumbre y pérdida de control que es, en el mejor de los casos, incómoda. Los artistas y otras personas creativas saben dejarse llevar por ese estado. Los novelistas cuentan que, a menudo, sus personajes parecen tomar vida propia en el proceso de creación, y que su relato parece escribirse a sí mismo. El gran Miguel Ángel nos describe la inolvidable imagen del escultor que quita trabajosamente el mármol sobrante para que la estatua pueda salir a la luz.

Tras la prolongada inmersión en la incertidumbre, la duda y la confusión, la repentina emergencia de novedad es a menudo experimentada como un momento mágico. Artistas y científicos han descrito frecuentemente esos momentos de maravilla y éxtasis en que una situación confusa y caótica cristaliza milagrosamente y proporciona una idea novedosa o la solución a un problema previamente intratable. Puesto que el proceso de emergencia es absolutamente no lineal, e implica múltiples bucles de retroalimentación, no puede ser analizado por medio de nuestras formas convencionales de razonamiento lineal, y tendemos a experimentarlo como algo misterioso.

En las organizaciones humanas, las soluciones emergentes son creadas dentro del contexto de una determinada cultura organizativa, y, generalmente, no pueden ser transferidas a otra organización con una cultura distinta. Esto tiende a ser un grave problema para los líderes empresariales quienes, naturalmente, son muy aficionados a tratar de replicar los cambios organizativos que tienen éxito. En realidad, lo que tratan de hacer es replicar una estructura nueva que ha tenido éxito sin transferir

el conocimiento tácito y el contexto de significado de los que esa nueva estructura emergió.

EMERGENCIA Y DISEÑO

A lo largo y a lo ancho del mundo vivo la creatividad de la vida se expresa a través del proceso de emergencia. Las estructuras creadas en ese proceso —tanto las biológicas de los organismos vivos como las sociales de las comunidades humanas— pueden ser denominadas, con propiedad, «estructuras emergentes». Antes de la evolución de los humanos todas las estructuras del planeta eran emergentes. Con la evolución humana entraron en juego el lenguaje, el pensamiento conceptual y las demás características de la consciencia reflexiva, lo cual nos capacitó para la representación mental de imágenes de objetos físicos y para concebir y formular objetivos y estrategias, así como, por consiguiente, para crear estructuras por medio del diseño.

Hablamos a menudo del «diseño» estructural de una hoja de hierba o del ala de un insecto, pero al hacerlo recurrimos al lenguaje metafórico. Esas estructuras no fueron diseñadas, sino que se formaron durante la evolución de la vida y sobrevivieron por selección natural. Son, por consiguiente, estructuras emergentes. El diseño requiere la capacidad de crear imágenes mentales, y puesto que, hasta donde sabemos, tal capacidad queda limitada a los humanos y a grandes simios, en la naturaleza no cabe hablar de diseño.

Las estructuras diseñadas son siempre creadas para un propósito y materializan un significado.⁵³ En la naturaleza no humana no hay intención o propósito. Tendemos a menudo a atribuir determinado propósito a la forma de una planta o al comportamiento de un animal. Por ejemplo, decimos que una flor tiene tal o cual color para atraer a las abejas, o que la ardilla esconde sus nueces para disponer de una reserva de alimentos en invierno, pero todo eso no son más que proyecciones antropomórficas que asignan la característica de la acción dotada

de propósito a los fenómenos no humanos. Los colores de las flores y el comportamiento de los animales han sido moldeados por largos procesos de evolución y selección natural, a menudo en coevolución con otras especies. Desde el punto de vista científico, en la naturaleza no puede haber ni diseño ni propósito.⁵⁴

Eso no significa que la vida sea meramente aleatoria y carente de sentido, como sostiene la escuela de pensamiento neodarwinista. La comprensión sistémica de la vida reconoce el orden que todo lo impregna, la autoorganización y la inteligencia que el mundo vivo manifiesta. Además, como hemos visto, ese reconocimiento es completamente coherente con la visión espiritual de la vida.⁵⁵ Sin embargo, la presuposición teleológica de que el propósito es inherente a los fenómenos naturales no es más que una proyección humana, habida cuenta de que el propósito constituye una característica de la consciencia reflexiva que, en términos generales, no está presente en la naturaleza.⁵⁶

Las organizaciones humanas contienen en todos los casos tanto estructuras diseñadas como emergentes. Las primeras son las estructuras formales de la organización, tal como las describen sus documentos oficiales. Las segundas son creadas por las redes informales y las comunidades de práctica de la red. Como hemos visto, ambas clases de estructuras son muy distintas y toda organización precisa de las dos.⁵⁷ Las estructuras diseñadas proporcionan las reglas y los hábitos indispensables para el funcionamiento eficaz de la organización. Permiten a una empresa optimizar sus procesos de producción y vender sus productos mediante campañas de marketing eficaces. Las estructuras diseñadas proporcionan estabilidad.

Las estructuras emergentes, en cambio, aportan novedad, creatividad y flexibilidad. Son adaptables y capaces de cambiar y de evolucionar. En el complejo entorno empresarial de nuestros días, las estructuras puramente diseñadas carecen de la necesaria capacidad de respuesta y aprendizaje. A veces permiten realizar grandes cosas, pero, habida cuenta de su inadaptabili-

dad, son deficientes en cuanto a aprendizaje y cambio, por lo que quedan rápidamente obsoletas.

No se trata, sin embargo, de descartar las estructuras diseñadas en favor de las emergentes: ambas son necesarias. En toda organización humana existe una tensión entre sus estructuras diseñadas, que encarnan las relaciones de poder, y sus estructuras emergentes, que representan la vivacidad y la creatividad de la organización. Como señala Margaret Wheatley: «En las organizaciones, las dificultades son manifestaciones de la vida, que se afirma a sí misma frente a los poderes de control.»⁵⁸ Los directivos inteligentes comprenden la interdependencia entre diseño y emergencia. Saben que, en las aguas turbulentas del mundo actual de los negocios, su reto como líderes consiste en encontrar el justo equilibrio entre la creatividad de la emergencia y la estabilidad del diseño.

DOS CLASES DE LIDERAZGO

Encontrar ese equilibrio adecuado entre diseño y emergencia parece requerir una mezcla de dos clases distintas de liderazgo. La noción tradicional de líder es la de una persona capaz de mantener una visión, de articularla claramente y de comunicarla con pasión y carisma. Es también una persona cuyas acciones representan ciertos valores, que sirven a otros como ideales por los que luchar. Esta capacidad para mantener una clara visión de una forma o de un estado de cosas ideales es algo que los líderes tradicionales comparten con los diseñadores.

La otra clase de liderazgo consiste en facilitar la emergencia de novedad, lo cual significa crear condiciones más que imponer direcciones, así como usar el poder de la autoridad para conferir poder a otros. Ambas clases de liderazgo están relacionadas con la creatividad. Ser líder significa crear una visión, significa ir a donde nadie ha ido antes, significa capacitar a la comunidad como un todo para crear algo nuevo. Facilitar la emergencia equivale a facilitar la creatividad.

Tener una visión de futuro es crucial para el éxito de cualquier organización, puesto que todos los seres humanos necesitan sentir que sus acciones tienen sentido y están orientadas hacia objetivos específicos. En cualquier nivel de la organización la gente necesita tener una idea clara de hacia dónde va. Una visión es una imagen mental de lo que queremos conseguir, pero las visiones son mucho más complejas que los objetivos concretos, y tienden a resistirse a ser expresadas en términos ordinarios y racionales. Los objetivos pueden ser evaluados, mientras que la visión es cualitativa y mucho menos tangible.

Cuando necesitamos expresar imágenes complejas y sutiles, recurrimos a las metáforas, por lo que no resulta sorprendente que éstas tengan un papel crucial en la formulación de la visión de futuro de una organización.⁵⁹ A menudo esa visión resulta poco clara cuando tratamos de explicarla, pero adquiere vida de repente si encontramos la metáfora adecuada para representarla. La capacidad para expresar una visión de futuro mediante metáforas, para articularla de tal modo que sea entendida y asumida por todos, constituye una cualidad esencial del liderazgo.

Para facilitar eficazmente la emergencia, los líderes de comunidades necesitan reconocer y comprender las diferentes etapas de ese proceso fundamental de la vida. Como hemos visto, la emergencia requiere una red activa de comunicaciones, dotada de numerosos bucles de retroalimentación. Facilitar la emergencia significa, ante todo, crear y mantener redes de comunicaciones que permitan que el sistema «se conecte mejor consigo», en palabras de Wheatney y Kellner-Rogers.⁶⁰

Por otro lado, es necesario recordar que la emergencia de novedad constituye una propiedad de los sistemas abiertos, lo cual significa que la organización tiene que mantenerse abierta a las nuevas ideas y al nuevo conocimiento. Facilitar la emergencia incluye, pues, la creación y el mantenimiento de esa apertura, de una cultura de aprendizaje en la que el cuestionamiento continuo sea estimulado y se recompense la innovación. Las organizaciones dotadas de una cultura de estas caracte-

terísticas valoran la diversidad y –en palabras de Arie de Geus– «toleran actividades marginales: experimentos y excentricidades que amplían su comprensión».⁶¹

A los líderes les resulta a menudo difícil establecer los bucles de retroalimentación que incrementan la conectividad de la organización. Tienden a recurrir una y otra vez a las mismas personas –habitualmente las más poderosas de la organización–, que, por su propia condición, suelen ser reacias al cambio. Es más, los altos ejecutivos sienten que, por respeto a las tradiciones y al historial de la organización, algunas cuestiones delicadas no deben airearse abiertamente.

En estos casos uno de los enfoques más eficaces para el líder consiste en contratar los servicios de un consultor externo, que actúe como «catalizador». El catalizador no es afectado por la reacción que cataliza, de modo que el consultor no se verá implicado en el proceso que ayudará a iniciar, por lo que podrá analizar la situación de forma mucho más objetiva. Angelika Siegmund, cofundadora de Corphis Consulting en Munich, Alemania, describe su trabajo con las siguientes palabras:

Entre mis múltiples actividades se cuenta facilitar la retroalimentación y amplificarla. No diseño soluciones, sino que facilito la retroalimentación y dejo que sea la propia organización la que se ocupe del contenido. Analizo la situación, se la pongo ante los ojos a la dirección y me aseguro de que cualquier decisión sea comunicada de inmediato a través de un bucle de retroalimentación. Construyo redes, incremento la conectividad de la organización y amplifico las voces de los empleados, que de otro modo no se escucharían. Como consecuencia, los directivos comienzan a debatir temas de los que normalmente no hablarían, y de este modo aumenta la capacidad de la organización para aprender. Según mi propia experiencia, un líder poderoso y un consultor externo habilidoso forman una combinación formidable, susceptible de producir efectos increíbles.⁶²

La experiencia de la inestabilidad crítica que precede a la emergencia de novedad puede implicar incertidumbre, temor, confusión o dudas sobre las propias capacidades. Los líderes experimentados reconocen esas emociones como parte integrante de toda dinámica de cambio, por lo que crean un clima de confianza y mutuo apoyo. Eso es particularmente importante en la turbulenta economía global de nuestros días, habida cuenta del temor de la gente a perder su empleo como consecuencia de una fusión o algún otro cambio estructural radical. Ese temor genera una fuerte resistencia al cambio, por lo que crear confianza es fundamental.

El problema consiste en que, a todos los niveles, la gente quiere que se le diga qué resultados concretos puede esperar del proceso de cambio, mientras que los directivos no saben qué es lo que va a emerger de él. En esta fase caótica muchos dirigentes tienden a guardar silencio en lugar de comunicarse abierta y sinceramente, lo cual deja la puerta abierta a toda clase de rumores y nadie sabe a qué atenerse.

Los buenos líderes explican a su personal, abiertamente y a menudo, qué aspectos del cambio han sido establecidos y cuáles son aún inciertos. Tratan de que el proceso sea transparente, aun cuando los resultados no puedan ser conocidos de antemano.

Es posible que durante el proceso de cambio algunas de las viejas estructuras se vengán abajo, pero si el clima de apoyo y los bucles de retroalimentación de la red de comunicaciones persisten, lo más probable es que emerjan estructuras nuevas y más significativas. Cuando eso sucede, los implicados suelen experimentar una sensación de asombro y alivio, momento en que el papel del líder consiste en reconocer esas sensaciones y proporcionar oportunidades para que todos se sientan satisfechos.

Finalmente, los líderes tienen que saber reconocer la novedad emergente, articularla e incorporarla al diseño de la organización. Sin embargo, no todas las soluciones emergentes van a ser viables, por lo que una cultura que promueva la emergencia incluirá la libertad para cometer errores. En una cultura de es-

tas características se promueve la experimentación y el aprendizaje se valora tanto como el éxito.

Puesto que el poder está encarnado en todas las estructuras sociales, la emergencia de nuevas estructuras alterará siempre las relaciones de poder. Dicho de otro modo, en las comunidades, el proceso de emergencia es siempre un proceso de distribución de poder en el seno de la colectividad. Los líderes que facilitan la emergencia utilizan su propio poder para dar poder a otros. El resultado puede acabar siendo una organización en la que tanto el poder como el potencial de liderazgo estén ampliamente distribuidos, lo cual no significa que varios individuos ejerzan el poder al mismo tiempo, sino que toman el mando cuando es necesario para hacer más fáciles diversas etapas de la emergencia. La experiencia demuestra que suelen ser necesarios años para que se desarrolle esta clase de liderazgo colectivo.

En ocasiones se argumenta que la necesidad de decisiones y estrategias coherentes requiere un escalón último de poder. Sin embargo, varios líderes empresariales han señalado que la estrategia coherente emerge precisamente cuando los altos ejecutivos de la empresa se involucran en un proceso continuo de conversación. En palabras de Arie de Geus: «Las decisiones nacen en el caldo de cultivo de la conversación, formal e informal, a veces estructurada (como en las reuniones del consejo de administración o en el proceso de elaboración del presupuesto), a veces técnica (dedicada a la puesta en marcha de planes o prácticas específicos) y a veces sobre la marcha.»⁶³

Diferentes situaciones requerirán distintos estilos de liderazgo. En ocasiones será necesario establecer redes y bucles de retroalimentación, en otras la gente necesitará marcos sólidos, con objetivos y calendarios bien definidos, para poderse organizar. El líder experimentado evaluará la situación y tomará el timón si lo estima conveniente, pero con la flexibilidad necesaria para soltarlo en cuanto pueda. Es evidente que un liderazgo de esas características requiere el dominio de numerosas habilidades, de modo que siempre estén abiertas varias vías de acción.

Aportar vitalidad a organizaciones humanas confiriendo poder a sus comunidades de práctica no sólo aumenta su flexibilidad, su creatividad y su potencial de aprendizaje, sino que incrementa la dignidad y la humanidad de sus miembros en la medida en que les permite conectar con sus propias cualidades. En otras palabras, centrar la atención en la vida y la autoorganización mejora el ego. Crea entornos de trabajo mental y emocionalmente saludables, en los que las personas sienten que están apoyadas en su esfuerzo por alcanzar sus propios objetivos, en lugar de tener que sacrificar su integridad personal para adaptarse a los de la organización.

El problema está en que las organizaciones humanas no son únicamente comunidades vivas, sino también instituciones sociales diseñadas para unos propósitos específicos y que funcionan en un entorno económico determinado, y, en la actualidad, este entorno no propicia la vida, sino que la destruye cada vez más. Cuanto más comprendemos la naturaleza de la vida y más conscientes somos de cuán viva debería ser una organización, más dolorosamente nos damos cuenta de la naturaleza destructora de vida del sistema económico actual.

Cuando los accionistas y otros cuerpos exteriores a la empresa evalúan su estado de salud, no suelen interesarse por la vitalidad de sus comunidades, por la integridad y el bienestar de sus empleados, ni por la sostenibilidad ecológica de sus productos. Se interesan por los beneficios, por el valor de las acciones, por la cuota de mercado y demás parámetros económicos, y se muestran dispuestos a aplicar toda la presión posible para asegurar un rápido y sustancioso beneficio a sus inversiones, con independencia de las consecuencias que ello pueda implicar a largo plazo para la organización, para el bienestar de sus empleados o para el impacto social y medioambiental.

Esas presiones económicas son ejercidas con la ayuda de tecnologías de información y comunicación cada vez más complejas, lo cual ha creado, de paso, un profundo conflicto entre

tiempo biológico y tiempo informático. Como hemos visto, el nuevo conocimiento surge de procesos caóticos que requieren su tiempo. Ser creativo significa ser capaz de relajarse en medio de la incertidumbre y de la confusión. En la mayoría de las organizaciones eso se vuelve cada vez más difícil, porque las cosas van demasiado deprisa. La gente siente que ya casi no tiene tiempo para la reflexión tranquila, y, puesto que la reflexión consciente es una característica definitoria de la naturaleza humana, los resultados de esa aceleración son profundamente deshumanizadores.

La inmensa carga de trabajo del ejecutivo de nuestros días es otra consecuencia del conflicto entre tiempo biológico y tiempo informático. Su trabajo está cada vez más informatizado, y, dado que la tecnología informática progresa sin cesar, las máquinas informáticas trabajan cada vez más deprisa y ahorran cada vez más tiempo. Qué hacer con el tiempo ahorrado es cuestión de valores. Puede ser distribuido entre los miembros de la organización, dejándoles más tiempo para reflexionar, para organizarse, para trabajar en red y para encuentros y conversaciones informales, o puede ser extraído de la organización y convertido en beneficios para sus altos ejecutivos y para sus accionistas, haciendo que el personal trabaje más y que, por consiguiente, aumente la productividad de la empresa. Lamentablemente, en nuestra tan cacareada era de la información, numerosas empresas han optado por la segunda posibilidad. Como consecuencia, podemos ver una descomunal acumulación de riqueza en la cima, al mismo tiempo que millares de trabajadoras y trabajadores son despedidos a causa de una obsesión continua por la reducción de tamaño y por las fusiones de empresas. Y quienes aún mantienen su empleo trabajan cada vez más, incluyendo a los altos ejecutivos.

La mayoría de las fusiones empresariales implican rápidos y espectaculares cambios de estructuras, para los que las personas no están preparadas en absoluto. Las adquisiciones y las fusiones se deben en parte a que las grandes corporaciones quieren entrar en nuevos mercados, o comprar conocimiento y tecnolo-

gías desarrollados por empresas más pequeñas, basándose en la creencia errónea de que de este modo podrán saltarse el proceso de aprendizaje. Sin embargo, y de forma creciente, la principal razón para una fusión consiste en hacerse más grande y, por consiguiente, menos susceptible de ser engullida a su vez. En la mayoría de los casos, una fusión implica una problemática mezcla de dos culturas empresariales diferentes, lo cual no parece presentar demasiadas ventajas en cuanto a eficacia y beneficios se refiere, pero que produce, en cambio, grandes cantidades de luchas por el poder, de estrés y de miedos existenciales y, por ende, una gran desconfianza y suspicacia hacia el cambio estructural.⁶⁴

Resulta evidente que las características clave del entorno actual de los negocios —competición global, mercados turbulentos, fusiones de empresas con cambios estructurales rápidos, creciente carga de trabajo y exigencia de accesibilidad las veinticuatro horas del día y los siete días de la semana («24/7»), a través de correos electrónicos y teléfonos móviles— se combinan para crear una situación tremendamente estresante y profundamente insalubre. En semejante clima es a menudo difícil mantener en mente la visión de una organización viva, creativa y preocupada por el bienestar de sus miembros y del mundo vivo en general. Si estamos estresados, tendemos a invertir las viejas formas de actuar. Cuando todo se viene abajo en una situación caótica, tendemos a asir el timón y tomar el control. Esta tendencia es especialmente fuerte entre los directivos, acostumbrados a conseguir que las cosas se hagan y a los que gusta ejercer el control.

Paradójicamente, el entorno actual de los negocios, con sus turbulencias, sus complejidades y su énfasis en el conocimiento y el aprendizaje, es también el más necesitado de la flexibilidad, la creatividad y la capacidad de aprendizaje que acompañan a la vitalidad de una organización. Eso es algo cada vez más admitido por un número creciente de líderes empresariales visionarios, que están cambiando sus prioridades hacia el desarrollo del potencial creativo de sus empleados, la mejora de la calidad

de las comunidades internas de la empresa y la integración en sus estrategias de los retos de la sostenibilidad ecológica. Habiendo cuenta de la necesidad de una gestión continua del cambio en el entorno turbulento del mundo de los negocios de nuestros días, las «organizaciones que aprenden» gestionadas por esa nueva generación de líderes empresariales suelen tener gran éxito, a pesar de los condicionantes económicos de nuestros tiempos.⁶⁵

A largo plazo las organizaciones realmente vivas tan sólo podrán prosperar cuando cambiemos nuestro sistema económico, de modo que promueva la vida en lugar de destruirla. Se trata de una cuestión global, que analizaré con cierto detalle en las páginas siguientes. Veremos que las características destructoras de vida del entorno económico en el que las organizaciones de nuestros días están obligadas a actuar no surgen de manera aislada, sino que son, invariablemente, consecuencias de esa «nueva economía» que se ha convertido en el contexto crítico de nuestra vida social y organizativa.

Esta nueva economía está estructurada en torno a flujos de información, poder y riqueza, así como en redes financieras globales que se apoyan decisivamente en tecnologías de vanguardia en cuanto a información y comunicación.⁶⁶ Está moldeada de forma fundamental por máquinas, y el entorno económico, social y cultural resultante no promueve la vida, sino que la destruye. Ha suscitado gran cantidad de resistencias, que podrían muy bien aglutinarse en un único movimiento mundial para cambiar el sistema económico actual organizando sus flujos financieros de acuerdo con un conjunto completamente distinto de valores y creencias. La comprensión sistémica de la vida deja claro que en los próximos años semejante cambio va a ser imperativo, no sólo para el bienestar de las organizaciones humanas, sino también para la supervivencia y la sostenibilidad de la humanidad como un todo.

5. LAS REDES DEL CAPITALISMO GLOBAL

En la última década del siglo XX se fue extendiendo la percepción entre empresarios, políticos, científicos sociales, líderes comunitarios, militantes de base, artistas, historiadores de la cultura y hombres y mujeres de toda clase y condición, de que surgía un nuevo mundo, un mundo caracterizado por nuevas tecnologías, nuevas estructuras sociales, una nueva economía y una nueva cultura. «Globalización» fue el término usual para resumir los extraordinarios cambios y el, al parecer, irresistible impulso renovador que percibieron muchos millones de personas.

Tras la creación de la OMC, a mediados de los noventa, la globalización económica, caracterizada por el «comercio libre», fue aclamada por dirigentes empresariales y políticos como un nuevo orden que iba a beneficiar a todas las naciones, pues provocaría una expansión económica mundial cuyos benéficos efectos llegarían a todos los rincones del planeta y a cada uno de sus pobladores. Sin embargo, bien pronto se hizo aparente a los cada vez más numerosos activistas medioambientales y de movimientos de base que las nuevas reglas económicas establecidas por la OMC eran manifiestamente insostenibles y tenían multitud de consecuencias interrelacionadas y fatales: desintegración social, quiebra de la democracia, deterioro más rápido y extenso del medio ambiente, expansión de nuevas enfermedades y pobreza y alienación crecientes.

En 1996 fueron publicados dos libros que proporcionaban los primeros análisis sistémicos de la nueva globalización económica. Si bien están escritos con estilos muy diferentes y sus autores siguen planteamientos distintos, su punto de partida es el mismo: el intento de comprender los profundos cambios provocados por la combinación de una innovación tecnológica extraordinaria y el alcance global de las grandes corporaciones.

The Case Against the Global Economy es una colección de ensayos escritos por más de cuarenta militantes de base y líderes comunitarios, editada por Jerry Mander y Edward Goldsmith y publicada por Sierra Club, una de las más antiguas y respetadas organizaciones medioambientales de los Estados Unidos.¹ Los autores de esos ensayos pertenecen a tradiciones culturales de muchos países del mundo. En su mayor parte son bien conocidos por todos aquellos que trabajan por el cambio social. Sus exposiciones son apasionadas, derivan directamente de las experiencias de sus comunidades y están orientadas hacia la remodelación de la globalización de acuerdo con otras escalas de valores y visiones del mundo.

The Rise of the Network Society, escrito por Manuel Castells, profesor de sociología en la Universidad de California en Berkeley, y publicado por Blackwell, una de las principales editoriales de libros de ensayo, constituye un brillante análisis de los procesos fundamentales que subyacen tras la globalización económica.² Su autor opina que, antes de tratar de remodelar la globalización, debemos comprender las profundas raíces sistémicas del mundo que emerge. «Propongo la hipótesis», escribe en el prólogo de su obra, «de que las principales tendencias de cambio que están conformando nuestro nuevo y confuso mundo se hallan relacionadas, así como de que podemos encontrarle sentido a su interrelación. Y creo, incluso a pesar de una larga tradición de errores intelectuales, a veces trágicos, que la observación, el análisis y la formulación de teorías pueden ayudar a construir un mundo distinto y mejor.»³

En los años siguientes a la publicación de ambas obras algunos de los autores de los ensayos recogidos en la primera constituyeron el Foro sobre la Globalización, organización sin ánimo de lucro que desarrolla reuniones de estudio sobre globalización económica en diversos países. En 1999 esos encuentros proporcionaron el fundamento filosófico para la coalición mundial de movimientos de base que bloqueó la reunión de la OMC en Seattle y dio a conocer a todo el mundo su oposición a la política y al modo autocrático de proceder de dicha organización.

En el ámbito teórico, Manuel Castells publicó dos libros más: *The Power of Identity* (1997) y *End of Millenium* (1998), con lo que completó la trilogía titulada *The Information Age: Economy, Society and Culture*.⁴ Esta trilogía constituye una obra monumental, enciclopédica por su rica documentación, que Anthony Giddens ha comparado con *Wirtschaft und Gesellschaft*, escrita por Max Weber casi un siglo atrás.⁵

La tesis de Castells es amplia e ilustrativa. Centra su atención en las revolucionarias tecnologías de la información y de la comunicación surgidas en las tres últimas décadas del siglo XX. Del mismo modo que la Revolución Industrial originó la «sociedad industrial», la nueva Revolución de la Tecnología de la Información está alumbrando una «sociedad de la información». Y puesto que la tecnología de la información ha tenido un papel decisivo en el surgimiento de la red como nueva forma de organización de la actividad humana en los negocios, la política, los medios de información y las organizaciones no gubernamentales, Castells denomina también «sociedad en red» a la sociedad de la información.

Otro aspecto importante y bastante misterioso de la globalización fue el súbito colapso del comunismo soviético en los ochenta, que ocurrió sin la intervención de movimientos sociales y sin una guerra abierta y cogió por sorpresa a la práctica totalidad de los observadores occidentales. Según Castells, esa profunda transformación geopolítica fue también consecuencia de la Revolución de la Tecnología de la Información. En un detallado

análisis del colapso económico de la Unión Soviética, Castells propone que las raíces de la crisis que desencadenó la *perestroika* de Gorbachov y condujo a la desintegración de aquélla se encuentran en la inviabilidad del sistema económico y político soviético para superar la transición hacia el nuevo paradigma de la información que se estaba extendiendo por el resto del mundo.⁶

Desde el colapso del comunismo soviético el capitalismo se ha extendido por todo el mundo, y –como señala Castells– «profundiza su penetración en países, culturas y ámbitos de vida. A pesar de un paisaje de gran diversidad social y cultural, por primera vez en la historia el mundo entero se organiza en torno a un conjunto de reglas económicas ampliamente comunes».⁷

Durante los primeros años del nuevo siglo los intentos de intelectuales, políticos y líderes de comunidades por comprender la naturaleza y las consecuencias de la globalización han continuado y se han intensificado. En 2000 los científicos sociales británicos Will Hutton y Anthony Giddens publicaron una colección de ensayos sobre la globalización suscritos por algunos de los principales pensadores políticos y económicos del mundo.⁸ Al mismo tiempo el presidente checo Václav Havel y el premio Nobel Elie Wiesel convocaban a un distinguido grupo de líderes religiosos, políticos y científicos para celebrar en un castillo de Praga un simposio anual, con el nombre de Fórum 2000, a fin de sostener debates «sobre los problemas de nuestra civilización [...] y reflexionar sobre las dimensiones política, humana y ética de la globalización económica».⁹

En el presente capítulo trataré de sintetizar las principales ideas acerca de la globalización que he aprendido de las personas y las publicaciones antes mencionadas. Y al hacerlo pienso introducir algunos puntos de vista propios, desde la perspectiva de la nueva comprensión unificada de la vida biológica y social que he presentado en los tres primeros capítulos de este libro. En particular, trataré de demostrar que el desarrollo de la globalización ha sido consecuencia de un proceso característico de las organizaciones humanas: la interrelación entre estructuras diseñadas y estructuras emergentes.¹⁰

La característica común a los múltiples aspectos de la globalización consiste en una red global de información y comunicaciones, basada en nuevas y revolucionarias tecnologías. La Revolución de la Tecnología de la Información es el resultado de una compleja dinámica de interacciones humanas y tecnológicas que ha producido efectos sinérgicos en tres grandes áreas de la electrónica: ordenadores, microelectrónica y telecomunicaciones. Las cruciales innovaciones que crearon el entorno electrónico radicalmente novedoso de los noventa se introdujeron veinte años antes, en la década de los setenta.¹¹

La tecnología de los ordenadores se basa teóricamente en la cibernética, que constituye asimismo una de las raíces conceptuales de la nueva comprensión sistémica de la vida.¹² Los primeros ordenadores comerciales fueron producidos en los años cincuenta, y durante los sesenta, IBM pasó a dominar la industria informática gracias a sus ordenadores de gran tamaño. El desarrollo de la microelectrónica en los años siguientes alteró espectacularmente ese escenario. El cambio radical se inició con la invención y la subsiguiente miniaturización del circuito integrado –un diminuto circuito electrónico embebido en un chip de silice–, capaz de contener miles de transistores que procesan impulsos eléctricos.

A principios de los setenta, la microelectrónica dio un paso de gigante con la invención del microprocesador, que es, en esencia, un ordenador dentro de un chip. Desde entonces la densidad (o «capacidad de integración») de los circuitos de estos microprocesadores ha aumentado exponencialmente. En los setenta se había conseguido integrar miles de transistores en un chip del tamaño de una uña. Veinte años más tarde eran ya millones. La capacidad de los chips se incrementó incesantemente al mismo tiempo que el avance de la microelectrónica reducía su tamaño hasta alcanzar dimensiones tan exiguas que desafían a la imaginación. La creciente pequeñez de esos chips procesadores de información permitió su progresiva incorporación a la prácti-

ca totalidad de las máquinas y electrodomésticos habituales hoy día, en los que ni siquiera somos conscientes de su presencia.

La aplicación de la microelectrónica al diseño informático condujo a una espectacular reducción del tamaño de los ordenadores en muy pocos años. El lanzamiento del primer microordenador Apple a mediados de los setenta, por Steve Jobs y Stephen Wozniak, un par de jóvenes recién salidos de la universidad, sacudió los cimientos de los viejos ordenadores de gran tamaño. Sin embargo, IBM no se quedó a la zaga y contraatacó con su propio microordenador, al que puso el ingenioso nombre de «Personal Computer (PC)», término que bien pronto se convertiría en el apelativo genérico para los microordenadores.

A mediados de los ochenta Apple lanzó al mercado su primer Macintosh, dotado de la tecnología de iconos y ratón que facilitaba el trabajo al usuario. Al mismo tiempo, otro par de recién salidos de la universidad, Bill Gates y Paul Allen, desarrollaban el primer software para PC y, basándose en su éxito, fundaban Microsoft, que se convertiría en el gigante del software de nuestros días.

El estado actual de la Revolución de la Tecnología de la Información se alcanzó cuando las tecnologías avanzadas de los PC y la microelectrónica se combinaron sinérgicamente con los últimos logros en telecomunicaciones. La revolución de las comunicaciones globales comenzó a finales de los sesenta, cuando fueron puestos en órbita geoestacionaria los primeros satélites capaces de transmitir, de forma casi instantánea, señales entre dos puntos cualesquiera de la superficie del planeta. Hoy día los satélites de comunicaciones pueden manejar simultáneamente miles de canales. Algunos de ellos proporcionan también señales constantes que permiten a aviones, barcos, e incluso coches privados, determinar su posición con gran precisión.

Mientras tanto, las comunicaciones por la superficie de la Tierra se incrementaban también gracias a los grandes avances en la tecnología de fibra óptica, que han aumentado espectacularmente la capacidad de las líneas de transmisión. Mientras que el primer cable telefónico transatlántico disponía en 1956

de cincuenta canales comprimidos de voz, los cables de fibra óptica actuales transportan cincuenta mil. Por si fuera poco, la diversidad y la versatilidad de las comunicaciones aumentaron también considerablemente gracias al uso de una mayor variedad de frecuencias electromagnéticas que incluye las microondas, la transmisión por láser y la telefonía móvil.

El efecto combinado de todos estos avances técnicos en el uso del ordenador ha desembocado en un cambio espectacular al pasar del procesado y almacenamiento de datos en grandes máquinas aisladas al uso de microordenadores y el acceso compartido al poder informático a través de redes electrónicas. El ejemplo paradigmático de esta nueva forma de utilización compartida de la informática es, sin lugar a dudas, Internet, que ha pasado en menos de tres décadas de ser una pequeña red experimental que unía a una docena de instituciones de investigación de los Estados Unidos a convertirse en un sistema global de millares de redes interconectadas que unen a millones de ordenadores, susceptible, al parecer, de expandirse y diversificarse hasta el infinito. La evolución de Internet constituye una historia apasionante, que ejemplifica del modo más espectacular la continua interrelación entre diseño ingenioso y emergencia espontánea que ha caracterizado a la Revolución de la Tecnología de la Información.¹³

Tanto en Europa como en los Estados Unidos los sesenta y los setenta no sólo fueron años de innovaciones tecnológicas revolucionarias, sino también de grandes convulsiones sociales. Desde el movimiento por los Derechos Civiles en el Sur de los Estados Unidos hasta el de Libertad de Expresión en el campus de Berkeley, la Primavera de Praga o la revuelta estudiantil de mayo del 68 de París, se hizo patente una contracultura planetaria que propugnaba el cuestionamiento de la autoridad, la libertad y el poder individuales y la expansión de la consciencia, tanto social como espiritual. Las expresiones artísticas de esos ideales generaron diversos estilos y movimientos en poesía, teatro, cine, música y danza que se caracterizaron por su originalidad y definieron el espíritu de aquel período.

Las innovaciones sociales y culturales de los sesenta y los setenta no tan sólo conformaron las décadas siguientes en múltiples aspectos, sino que ejercieron también su influencia sobre los principales innovadores de la Revolución de la Tecnología de la Información. Cuando Silicon Valley se convirtió en la «nueva frontera» tecnológica y atrajo a miles de jóvenes mentes creativas de todo el mundo, esos nuevos pioneros descubrieron bien pronto –los que no lo sabían– que la zona de la Bahía de San Francisco era también el centro palpitante de la nueva contracultura. Las actitudes irreverentes, el fuerte sentido de comunidad y la sofisticación cosmopolita de aquellas décadas constituyeron el trasfondo cultural de los estilos de trabajo informales, abiertos, descentralizados, cooperativos y orientados al futuro que acabaron siendo característicos de las nuevas tecnologías de la información.¹⁴

EL AUGE DEL CAPITALISMO GLOBAL

Acabada la Segunda Guerra Mundial se impuso durante varias décadas el modelo keynesiano de economía capitalista, basado en el contrato social entre capital y fuerza laboral, así como en el ajuste de los ciclos de las economías nacionales mediante medidas centralizadas –subida o bajada de los tipos de interés, aumento o disminución de la presión fiscal, etcétera–, el cual tuvo un éxito notable y proporcionó prosperidad económica y estabilidad social a la mayoría de los países que tenían economías de mercado mixtas. En los setenta, sin embargo, ese modelo alcanzó sus limitaciones conceptuales.¹⁵

Los economistas keynesianos se concentraban en las economías domésticas, desdeñaban los acuerdos internacionales y la creciente red económica global, subestimaban el poder abrumador de las grandes corporaciones transnacionales, que se habían convertido en figuras clave de la escena económica global, y hacían caso omiso de los costes sociales y medioambientales de las actividades económicas, actitud que, por cierto, sigue siendo la

de la mayoría de los economistas. Cuando, a finales de los setenta, la crisis del petróleo sacudió al mundo industrializado y provocó una inflación galopante y un desempleo masivo, se hizo patente que el modelo keynesiano había tocado fondo.

Como respuesta a esa crisis los gobiernos y las organizaciones económicas occidentales se implicaron en un doloroso proceso de reestructuración industrial; al mismo tiempo en la Unión Soviética tuvo lugar un esfuerzo paralelo (aunque finalmente infructuoso): la *perestroika*, o proceso de reestructuración del comunismo, de Gorbachov. El proceso de reestructuración capitalista implicaba el desmantelamiento gradual del contrato social entre capital y fuerza laboral y la desregularización y la liberalización de los flujos financieros, además de numerosos cambios organizativos diseñados para incrementar la flexibilidad y la adaptabilidad.¹⁶ Ese proceso se llevó a cabo de forma pragmática mediante el procedimiento de prueba y error, y tuvo impactos muy diferentes en los distintos países del mundo, desde los desastrosos efectos de la «Reaganeconomía» en los Estados Unidos o la resistencia al desmantelamiento del Estado de Bienestar en la Europa Occidental hasta la afortunada mezcla de alta tecnología, competitividad y cooperación del Japón. Finalmente, la reestructuración capitalista acabó imponiendo una disciplina común a los países integrantes de la economía global emergente, controlada por los bancos centrales y el Fondo Monetario Internacional (FMI).

Todas esas medidas se vieron favorecidas por las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación, que permiten transferir fondos entre diferentes sectores de la economía y de un país a otro de forma casi instantánea, así como hacer frente a la tremenda complejidad acarreada por la rápida desregulación y la nueva inventiva financiera. De este modo, la Revolución de la Tecnología de la Información contribuyó al nacimiento de una nueva economía global, a un capitalismo rejuvenecido, flexible y en continua expansión.

Como subraya Castells, este nuevo capitalismo es profundamente distinto del que nació de la Revolución Industrial o del

que surgió después de la Segunda Guerra Mundial. Se caracteriza por tres aspectos fundamentales: sus actividades económicas básicas son globales; sus principales fuentes de productividad y competitividad son la innovación, la generación de conocimiento y el procesamiento de información, y está estructurado en gran medida en torno a redes de flujos financieros.

LA NUEVA ECONOMÍA

En esta nueva economía el capital trabaja en tiempo real y se mueve rápidamente por las redes financieras globales. Desde ellas se invierte en toda clase de actividades económicas, y la mayor parte de los rendimientos de esas inversiones vuelven a entrar en la metarred de flujos financieros. Complejas tecnologías de la información y la comunicación permiten al capital desplazarse rápidamente de una opción a otra, en una incesante búsqueda global de oportunidades de inversión. Los beneficios suelen ser mucho mayores en los mercados financieros que en la mayoría de las inversiones directas, de modo que, en última instancia, los flujos financieros tienden a converger en las redes financieras globales, en busca del máximo beneficio posible.

El papel dual de los ordenadores como instrumentos de procesamiento rápido de información y de elaboración de complejos modelos matemáticos ha conducido a la práctica sustitución del oro y el papel moneda por productos financieros aún más abstractos, entre los cuales se cuentan las «opciones de futuro» (opciones de compra en un determinado momento del futuro, para conseguir unos beneficios anticipados mediante proyecciones informáticas), los «fondos de cobertura» (fondos de inversión frecuentemente utilizados para comprar y vender grandes cantidades de divisas en cuestión de minutos y beneficiarse de pequeñas variaciones en los cambios) y los «derivados» (paquetes de fondos diversos cuyo valor financiero puede ser real o potencial). Así describe Manuel Castells el casino global resultante:

El mismo capital circula de un lado para otro entre economías en cuestión de horas, minutos y, en ocasiones, segundos. Favorecidos por la liberalización [...] y la apertura de mercados financieros domésticos, poderosos programas informáticos y expertos analistas financieros que son a la vez magos de la informática instalados en los nodos estratégicos de una red selectiva de telecomunicaciones, juegan literalmente con miles de millones de dólares [...] Esos jugadores globales no son especuladores desconocidos, sino grandes bancos de inversiones, fondos de pensiones, corporaciones multinacionales [...] y fondos de inversiones organizados específicamente para la práctica de la especulación financiera.¹⁷

La creciente «virtualidad» de los productos financieros y la importancia no menos creciente de unos modelos informáticos basados en las percepciones subjetivas de sus creadores han hecho que la atención de los inversores se desplace de los beneficios reales a los criterios subjetivos y volátiles del valor percibido de las acciones. En la nueva economía el objetivo fundamental del juego no consiste ya en maximizar los beneficios, sino en maximizar el valor de las acciones. Por supuesto, a largo plazo el valor de una empresa decrecerá si no tiene beneficios, pero a corto plazo su valor en bolsa puede subir o bajar sin ninguna relación con su verdadero comportamiento, basándose a menudo en intangibles apreciaciones de mercado.

Las nuevas compañías de Internet o «punto-coms», que durante cierto tiempo vieron incrementarse su valor de forma exponencial, a pesar de no tener beneficios, constituyen ejemplos asombrosos de la desconexión entre producción de dinero y producción de beneficios en la nueva economía. Por otra parte, las acciones de empresas sólidas caían espectacularmente con independencia de su cuenta de resultados, lo que las hundía y provocaba despidos masivos, simplemente, a causa de sutiles variaciones en el entorno financiero de esas corporaciones.

Para la competitividad en esta red global de flujos financieros son cruciales la rapidez del procesamiento de información y

el conocimiento necesario para la adecuada renovación tecnológica. En palabras de Manuel Castells: «La productividad procede fundamentalmente de la innovación, la competitividad de la flexibilidad [...] La tecnología de la información, y la capacidad cultural para utilizarla, son esenciales [para ambas].»¹⁸

COMPLEJIDAD Y TURBULENCIA

El proceso de globalización económica fue deliberadamente diseñado por los principales países capitalistas (las llamadas «naciones del G-7»), por las mayores corporaciones transnacionales y por las instituciones financieras globales creadas para ese propósito, particularmente el Banco Mundial (BM), el FMI y la OMC.

No obstante, ese proceso ha distado mucho de ser suave. Una vez que las redes financieras globales alcanzaron cierto grado de complejidad, sus interconexiones no lineales comenzaron a generar rápidos bucles de retroalimentación que dieron pie a la emergencia de numerosos fenómenos insospechados. Como resultado de todo ello, la nueva economía es tan compleja y turbulenta que desafía cualquier análisis en términos económicos convencionales. Ello ha hecho admitir a Anthony Giddens, actualmente director de la prestigiosa London School of Economics, que «El nuevo capitalismo, que constituye una de las fuerzas motrices de la globalización, es, hasta cierto punto, un misterio. Todavía no acabamos de comprender del todo cómo funciona».¹⁹

En el casino global operado electrónicamente los flujos financieros no siguen ninguna lógica de mercado. Los mercados están siendo continuamente manipulados y transformados por estrategias de inversión generadas por ordenador, por percepciones subjetivas de analistas influyentes, por acontecimientos políticos y –lo más importante– por turbulencias inesperadas, provocadas por las complejas interacciones de los flujos de capital en ese sistema altamente no lineal. Esas turbulencias, en

gran medida incontroladas, son tan importantes a la hora de establecer precios y señalar tendencias de mercado como las fuerzas tradicionales de la oferta y la demanda.²⁰

Tan sólo los mercados globales de divisas mueven cada día dos billones de dólares. Puesto que esos mercados determinan en gran medida el valor de cualquier moneda nacional, contribuyen de manera significativa a la incapacidad de los gobiernos para controlar eficazmente la política económica.²¹ Como resultado de ello, hemos asistido en los últimos años a una serie de graves crisis financieras, desde la de México en 1994 hasta las de Asia Oriental en 1997, Rusia en 1998 y el Brasil en 1999.

Las grandes economías dotadas de bancos sólidos son habitualmente capaces de absorber las turbulencias financieras con daños limitados y temporales, pero la situación se torna dramática cuando se trata de los denominados «mercados emergentes» del Sur, cuyas economías son diminutas si se las compara con los mercados internacionales.²² A causa de su fuerte potencial para el crecimiento económico, esos países se han convertido en blanco preferente para los especuladores del casino global, dispuestos a invertir de forma masiva en esos mercados emergentes, pero también a retirar al instante sus inversiones a la primera señal de debilidad.

Al hacerlo desestabilizan las pequeñas economías de esos países, inducen la fuga de capitales y crean una crisis a gran escala. Para recuperar la confianza de los inversores, el país afectado será típicamente requerido por el FMI a elevar sus tipos de interés, con el coste devastador de agravar su recesión interna. Los recientes colapsos de los mercados financieros han arrojado a cerca del cuarenta por ciento de la población mundial al abismo de una profunda recesión económica.²³

Tras la crisis financiera asiática, los economistas culparon de ella a una serie de «factores estructurales» propios de los países de la zona, incluyendo la debilidad de sus sistemas bancarios, la interferencia por parte de los gobiernos y la falta de transparencia financiera. Sin embargo, y como señala Paul Volcker, ex presidente del Consejo de Administración de la Reser-

va Federal estadounidense, ninguno de esos factores era nuevo o desconocido, ni había tampoco empeorado súbitamente. «Está claro», concluye Volcker, «que algo ha fallado en nuestro análisis y en nuestra respuesta [...] El problema no es regional, sino internacional, y todo indica que es sistémico.»²⁴ Según Manuel Castells, las redes financieras globales de la nueva economía son inherentemente inestables. Producen patrones aleatorios de turbulencia informativa susceptibles de desestabilizar cualquier empresa, país o región, con total independencia del funcionamiento real de su economía.²⁵

Resulta interesante aplicar la visión sistémica de la vida a este fenómeno. La nueva economía consiste en una metarred global de complejas interacciones tecnológicas y humanas, la cual implica múltiples bucles de retroalimentación que operan lejos del equilibrio y producen una infinita variedad de fenómenos emergentes. Por su creatividad, adaptabilidad y capacidades cognitivas recuerda, ciertamente, las redes vivas, pero, en cambio, no presentan la estabilidad que constituye también una propiedad clave de la vida. Los circuitos de información de la economía global operan a tal velocidad, y utilizan un número de fuentes tan elevado, que reaccionan constantemente a un torrente de información, y por esta razón todo el sistema gira de manera enloquecida, fuera de cualquier posibilidad de control.

Los organismos vivos y los ecosistemas pueden también volverse continuamente inestables, pero cuando eso sucede acaban desapareciendo por selección natural. Tan sólo sobrevivirán aquellos sistemas que tengan incorporados procesos de estabilización. En el ámbito humano esos procesos estabilizadores deberán ser introducidos en la economía global a través de la conciencia, la cultura y la política humanas. En otras palabras, necesitamos diseñar e implementar mecanismos reguladores que estabilicen la nueva economía. Como resume Robert Kuttner, editor de la revista progresista *The American Prospect*: «Hay demasiadas cosas en juego para que el capital especulativo y los vaivenes de las divisas determinen el destino de la economía real.»²⁶

EL MERCADO GLOBAL: UN AUTÓMATA

Al nivel existencial humano, la característica más alarmante de la nueva economía tal vez sea el hecho de estar modelada, en aspectos muy fundamentales, por máquinas. Estrictamente hablando, el denominado «mercado global» no es un mercado, sino una red de máquinas programadas según un único valor —hacer dinero por hacer dinero— y con absoluta exclusión de cualquier otro. En palabras de Manuel Castells:

El resultado del proceso de globalización financiera podría consistir en que hubiéramos creado un autómata y lo hubiéramos situado en el mismísimo centro de nuestra economía, [el cual] condiciona decisivamente nuestras vidas. La pesadilla humana de que las máquinas lleguen a tomar el control de nuestro mundo parece a punto de hacerse realidad, pero no en forma de robots que nos dejen sin empleo o de ordenadores que controlen nuestra vida, sino como un sistema de transacciones financieras basado en la electrónica.²⁷

No sólo la lógica de ese autómata no tiene nada que ver con las reglas tradicionales del mercado, sino que la dinámica de flujos financieros que desencadena está en la actualidad fuera del control de los gobiernos, de las corporaciones y de las instituciones financieras, sea cual fuere su riqueza y su poder. Sin embargo, habida cuenta de la gran versatilidad y precisión de las nuevas tecnologías de la información y las comunicaciones, la regulación eficaz de la economía global es técnicamente posible. No se trata de una cuestión de tecnología, sino de política y de valores humanos.²⁸ Y los valores humanos pueden cambiar, no son leyes naturales. Las propias redes electrónicas de flujos financieros y de información *podrían* tener incorporados otra clase de valores.

Una consecuencia importante de la atención exclusiva a los beneficios y al valor accionario en el nuevo capitalismo global consiste en la obsesión por las fusiones y absorciones empresa-

riales. En el casino electrónico global cualquier acción que pueda ser vendida con beneficio *lo será*, lo cual constituye la base para el escenario estándar de las adquisiciones hostiles. Cuando una corporación quiere adquirir otra, todo cuanto tiene que hacer es ofrecer por las acciones de ésta un precio superior al del mercado. La legión de brokers cuyo trabajo consiste en escanear constantemente el mercado en busca de oportunidades para inversiones y de obtención de beneficios contactaría inmediatamente con los accionistas para aconsejarles vender al nuevo precio.

Una vez que estas adquisiciones hostiles se hicieron posibles, los propietarios de grandes corporaciones se sirvieron de ellas para conseguir entrar en nuevos mercados, para hacerse con tecnologías específicas desarrolladas por empresas más pequeñas o, simplemente, para crecer y ganar en prestigio corporativo. Las pequeñas empresas, por su parte, ante el temor de ser fagocitadas, comenzaron a su vez a comprar a otras más pequeñas para crecer y hacerse de este modo más difíciles de tragar. De este modo se desató la fusionmanía, y no parece ir a la baja. Como ya he comentado antes, las fusiones empresariales parecen tener muchas ventajas en cuanto a eficacia y beneficios, pero implican cambios estructurales tremendos y muy rápidos para los que las personas no están en absoluto preparadas, por lo que conllevan dosis tremendas de estrés y dificultades.²⁹

EL IMPACTO SOCIAL

En su trilogía sobre la Era de la Información Manuel Castells ofrece un detallado análisis del impacto social y cultural del capitalismo global. Describe, en particular, cómo la nueva economía en red ha transformado profundamente las relaciones entre el capital y la fuerza laboral. El dinero se ha independizado casi por completo de la producción y de los servicios y se ha trasladado a la realidad virtual de las redes electrónicas. El capital se ha hecho global mientras que la mano de obra, por defi-

nición, sigue siendo local. Como consecuencia, capital y mano de obra existen en espacios y tiempos cada vez más distantes: el espacio virtual de los flujos financieros y el espacio real de los lugares locales y regionales donde la gente trabaja; el tiempo instantáneo de las comunicaciones electrónicas y el tiempo biológico de la vida cotidiana.³⁰

El poder económico reside en las redes financieras globales, que determinan el destino de la mayoría de puestos de trabajo, mientras que la mano de obra sigue localmente atrapada en el mundo real. Como consecuencia, la fuerza laboral se ha ido fragmentando y perdiendo poder. Hoy día numerosos trabajadores, tanto si están sindicados como si no, renuncian a luchar por un salario más digno o por mejores condiciones laborales, por temor a que sus puestos de trabajo sean transferidos a otra parte del mundo.

A medida que más y más empresas se reestructuran para convertirse en redes descentralizadas —redes de unidades menores que, a su vez, están unidas a redes de proveedores y subcontratistas—, los trabajadores van siendo empleados cada vez más mediante contratos individuales, con lo que la fuerza laboral va perdiendo su identidad colectiva y su poder de negociación. De hecho, en la nueva economía las comunidades tradicionales de trabajadores han desaparecido casi por completo.

Castells subraya la importancia de distinguir entre dos clases de trabajadores. A la mano de obra genérica, no especializada, no se le exige acceso a la información ni al conocimiento, más allá de la capacidad de comprender órdenes y ejecutarlas. En la nueva economía legiones de trabajadores genéricos entran y salen de empleos diversos. Pueden ser sustituidos en cualquier momento, ya sea por máquinas o bien por mano de obra genérica en otras partes del mundo, según las fluctuaciones de las redes financieras globales.

El trabajador «autoeducado», por el contrario, tiene capacidad para acceder a niveles superiores de educación, para procesar información y para crear conocimiento. En una economía en la que el procesamiento de información y la creación de in-

novación y conocimiento constituyen las principales fuentes de productividad, esos empleados autoeducados son muy valorados. Las empresas tratarán por todos los medios de mantener relaciones seguras y duraderas con su núcleo esencial de colaboradores, y buscarán el modo de asegurarse su fidelidad y de que su conocimiento tácito circule únicamente dentro de la organización.

Como incentivo a la fidelidad, cada vez más se ofrecen a esos colaboradores opciones sobre acciones, lo cual les proporciona una participación directa en el valor creado por la empresa. Esta estrategia ha minado aún más la otrora tradicional solidaridad de la clase trabajadora. «La pugna entre capitalistas diversos y clases trabajadoras misceláneas», escribe Castells, «se reduce a la oposición más fundamental entre la pura lógica de los flujos del capital y los valores culturales de la experiencia humana.»³¹

La nueva economía ha enriquecido, sin duda, a una élite de especuladores financieros, empresarios y profesionales de las altas tecnologías. En la cumbre ha habido una acumulación de riqueza sin precedentes. También es cierto que la economía global ha beneficiado a algunas economías nacionales, en particular de países asiáticos. Sin embargo, a nivel general, sus impactos sociales y económicos han sido desastrosos.

La fragmentación y la individualización de la fuerza laboral, junto con el gradual dismantelamiento del Estado de Bienestar por las presiones de la globalización económica, significan que el ascenso del capitalismo global ha ido acompañado de una desigualdad social y una polarización crecientes.³² El abismo entre ricos y pobres ha aumentado significativamente, tanto a nivel internacional como dentro de los propios países. Según el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Humano, la diferencia de la renta per cápita entre el Norte y el Sur se ha triplicado: pasó de 5.700 dólares en 1960 a 15.000 en 1993. El veinte por ciento más rico de la humanidad posee ahora el ochenta y cinco por ciento de la riqueza mundial, mientras que el veinte por ciento más pobre no posee más que

el 1,4 por ciento.³³ El activo de las tres personas más ricas del mundo supera la suma del producto interior bruto de todos los países subdesarrollados, con sus 600 millones de habitantes.³⁴

En los Estados Unidos, el país más rico y tecnológicamente más avanzado del mundo, los ingresos medios por familia se han estancado durante los últimos treinta años, e incluso declinaron en California en la década de los noventa, en pleno boom de las altas tecnologías. La mayoría de las familias sólo consiguen llegar a final de mes si dos miembros contribuyen al presupuesto doméstico.³⁵ El aumento de la pobreza, y en particular de la pobreza extrema, parece un fenómeno planetario. Incluso en los Estados Unidos el quince por ciento de la población (que incluye el veinticinco por ciento de los niños) vive hoy por debajo del umbral de la pobreza.³⁶ Una de las más dramáticas características de esa «nueva pobreza» es la carencia de vivienda, que se disparó en las ciudades estadounidenses en los ochenta y sigue teniendo niveles muy elevados.

El capitalismo global ha incrementado la pobreza y las desigualdades sociales, no solamente al transformar las relaciones entre capital y fuerza de trabajo, sino también con el proceso de «exclusión social», consecuencia directa de la estructura en red de la nueva economía. En la medida en que los flujos de capital e información interconectan las redes mundiales, excluyen de ellas a cualquier población o territorio que carezca de valor o de interés para su búsqueda de ganancias financieras. Como resultado de ello, determinados segmentos sociales, zonas urbanas, regiones o incluso países enteros se vuelven económicamente irrelevantes. En palabras de Manuel Castells:

Las zonas sin valor desde el punto de vista del capitalismo informacional, o sin interés político significativo para los poderes fácticos, son obviadas por los flujos de riqueza e información y, en última instancia, privadas de la infraestructura tecnológica básica indispensable para comunicarnos, innovar, producir, consumir, e incluso vivir, en el mundo de hoy.³⁷

La desolación de los guetos urbanos de las ciudades estadounidenses constituye un compendio de ese proceso de exclusión social, pero sus efectos van mucho más allá de los individuos, de los barrios y de los grupos sociales. A lo largo y a lo ancho del globo va creciendo un segmento empobrecido de la humanidad, que en ocasiones es denominado «Cuarto Mundo». Comprende zonas extensas del planeta que incluyen gran parte del África subsahariana y las regiones rurales empobrecidas de Asia y Latinoamérica, pero se extiende también a partes de cualquier país y cualquier ciudad del mundo.³⁸

El Cuarto Mundo está habitado por millones de personas sin hogar, empobrecidas y a menudo analfabetas, que entran y salen de trabajos mal pagados y se ven atraídas en muchos casos hacia la economía criminal. Les toca experimentar muchas crisis en su vida, incluyendo el hambre, las enfermedades, la drogadicción y la cárcel, último peldaño de la exclusión social. Una vez que su pobreza se convierte en miseria, es muy fácil que esas personas queden atrapadas en una espiral hacia abajo de marginalidad, de la que les será prácticamente imposible escapar. El análisis detallado de esas desastrosas consecuencias sociales de la nueva economía ilustra sus interconexiones sistémicas y contribuye a una devastadora crítica del capitalismo global.

EL IMPACTO ECOLÓGICO

Según la doctrina de la globalización económica —conocida como «neoliberalismo» o «consenso de Washington»—, los acuerdos de libre comercio impuestos por la OMC a sus países miembros incrementarán el intercambio comercial, lo cual creará una expansión económica planetaria que, a su vez, reducirá la pobreza porque sus beneficios «gotearán» con el tiempo hasta llegar a todos. Como gustan de repetir nuestros líderes económicos y políticos, la marea creciente de la nueva economía pondrá todas las embarcaciones a flote.

El análisis de Castells demuestra con claridad que ese razona-

miento es fundamentalmente erróneo. El capitalismo global no alivia la pobreza y la exclusión social, sino que, por el contrario, las exagera. El consenso de Washington no tuvo en cuenta esos efectos, porque los economistas corporativos excluyen tradicionalmente de sus modelos los costes sociales de la actividad económica.³⁹ De forma parecida, la mayor parte de los economistas convencionales han ignorado los costes medioambientales de la nueva economía: el aumento y la aceleración de la destrucción planetaria del medio natural, tan severo, o más, que su impacto social.

El empeño central de la teoría y la práctica económicas presentes —la lucha por un crecimiento económico continuo e indiferenciado— es claramente insostenible, dado que una expansión infinita sobre un planeta finito sólo puede conducir a la catástrofe. De hecho, a finales del siglo XX estaba ya más que claro que nuestras actividades económicas están dañando la biosfera y la vida humana hasta unos extremos que muy pronto podrían ser irreversibles.⁴⁰ En esta situación precaria es esencial para la humanidad reducir sistemáticamente su impacto sobre el medio natural. Como afirmó valientemente Al Gore en 1992, siendo aún senador: «Debemos convertir el rescate del medio ambiente en el principio organizativo central de nuestra civilización.»⁴¹

Lamentablemente, en lugar de seguir estas advertencias, la nueva economía ha incrementado significativamente nuestro impacto destructor sobre la biosfera. En *The Case Against the Global Economy*, Edward Goldsmith, fundador y editor de *The Ecologist*, publicación medioambiental líder en Europa, aporta un sucinto resumen sobre el impacto medioambiental de la globalización económica.⁴² Goldsmith señala que el incremento de la destrucción ambiental a causa del aumento de las actividades económicas queda patente en los casos de Corea del Sur y Taiwan. Durante los años noventa, ambos países alcanzaron niveles asombrosos de crecimiento económico y se convirtieron, según el Banco Mundial, en los modelos que debía emular el Tercer Mundo. Al mismo tiempo, sin embargo, el impacto medioambiental ha sido devastador.

En Taiwan los venenos de la agricultura y la industria han contaminado la práctica totalidad de los principales ríos. En algunos lugares el agua no tan sólo ha quedado desprovista de peces y ha perdido toda posibilidad para el consumo humano, sino que es literalmente inflamable. El nivel de la contaminación del aire dobla el considerado como nocivo en los Estados Unidos. Las tasas de cáncer se han duplicado desde el año 1965. El país tiene la tasa de hepatitis más alta del mundo. En principio, Taiwan podría emplear su nueva riqueza económica para limpiar su entorno, pero la competitividad en la economía global es tan feroz que, en lugar de endurecer las normas de protección ambiental, éstas se suprimen para reducir los costes de producción industrial.

Uno de los principios del neoliberalismo postula que los países pobres deben concentrarse en la producción de unos pocos bienes específicos para la exportación, a fin de obtener divisas, e importar el resto de los productos que necesiten. Esto ha redundado, país tras país, en un rápido agotamiento de los recursos naturales para producir cultivos exportables; el agua necesaria para los vitales arrozales se ha desviado a piscifactorías que crían gambas; la introducción de cultivos que necesitan gran cantidad de agua, como la caña de azúcar, ha provocado el agotamiento de cuencas fluviales y acuíferos; buenos suelos agrícolas se han agotado al ser dedicados a cultivos de plantación destinados a conseguir dólares; todo ello ha acabado provocando el éxodo de la población rural a los extrarradios urbanos. Son evidentes en todo el mundo las pruebas de que la globalización económica ha agravado la destrucción del medio ambiente.⁴³

El desmantelamiento de la producción local para propiciar las exportaciones e importaciones, objetivo principal de las reglas de libre mercado de la OMC, incrementa espectacularmente la distancia «entre la granja y la mesa». En los Estados Unidos cada onza (28,3 gramos) de alimentos viaja una media de más de mil millas (1.609 kilómetros) antes de llegar al consumidor, lo que provoca un tremendo estrés sobre el medio ambiente: nuevas autovías y aeropuertos cruzan lo que antes eran bosques compactos, nuevos puertos comerciales destruyen lo que antes

eran marismas y hábitats costeros, el incremento del volumen de transporte contamina aún más el aire y provoca vertidos frecuentes de petróleo y de productos químicos. Estudios realizados en Alemania demuestran que la contribución de los alimentos no locales al cambio climático es entre seis y doce veces superior a la de los alimentos cultivados y consumidos localmente, debido a la emisión mucho mayor de CO₂.⁴⁴

Como señala la ecologista y activista agrícola Vandana Shiva, el impacto de la inestabilidad climática y de la destrucción de la capa de ozono recae desproporcionadamente sobre el Sur, por su mayor dependencia de la agricultura, y pequeños cambios en el clima pueden destruir por completo el medio de vida rural. Por si esto fuera poco, muchas corporaciones transnacionales utilizan las reglas del libre comercio para reubicar sus industrias más devoradoras de recursos y más contaminantes en países del Sur, lo que agudiza la destrucción medioambiental de estas zonas. En palabras de Vandana Shiva, el efecto neto es que «los recursos van de los pobres a los ricos, mientras que la contaminación va de los ricos a los pobres».⁴⁵

La destrucción del medio natural en el Tercer Mundo va de la mano del desmantelamiento de los medios de vida tradicionales, en gran medida autosuficientes, de sus gentes; al mismo tiempo, los programas televisivos estadounidenses y las agencias transnacionales de publicidad intoxican con resplandecientes imágenes de modernidad a miles de millones de personas en todo el globo, pero se olvidan de advertir que ese estilo de vida de consumo ilimitado es, en esencia, insostenible. Edward Goldsmith estima que, si todos los países del Tercer Mundo alcanzaran el nivel de consumo de los Estados Unidos hacia 2060, el daño medioambiental provocado por las actividades económicas resultantes sería doscientas veinte veces mayor que el actual, lo que tendría consecuencias inimaginables.⁴⁶

Puesto que el principal valor del capitalismo global consiste en ganar dinero, sus representantes tratan de eliminar, con la excusa de la libertad de comercio, cualquier normativa medioambiental que se interponga en el camino del beneficio económico.

De este modo la nueva economía provoca la destrucción del medio ambiente no sólo con el incremento del impacto de sus operaciones sobre los ecosistemas planetarios, sino también eliminando leyes de protección del medio ambiente país tras país. En otras palabras, la destrucción medioambiental no es un efecto colateral del diseño del capitalismo global, sino algo inherente a él. «Está claro», concluye Goldsmith, «que no hay modo de proteger el medio ambiente dentro del contexto de una economía de “libre comercio”, que busca el crecimiento económico sin límites y, por consiguiente, no puede menos que incrementar el impacto negativo de nuestras actividades sobre un medio natural ya de por sí frágil.»⁴⁷

LA TRANSFORMACIÓN DEL PODER

La Revolución de la Tecnología de la Información no tan sólo ha originado una nueva economía, sino que ha transformado de manera decisiva las relaciones tradicionales de poder. En la Era de la Información el funcionamiento en red se ha convertido en una forma fundamental de organización en todos los ámbitos de la sociedad. Las actividades sociales dominantes se organizan cada vez más en redes, y participar en ellas constituye una fuente crucial de poder. En esta «sociedad en red», como la denomina Castells, la generación de nuevo conocimiento, de productividad económica, de poder político y militar y de comunicación a través de los medios está relacionada directamente con las redes globales de información y riqueza.⁴⁸

El auge de la sociedad en red ha ido de la mano del declive de la nación-estado como entidad soberana.⁴⁹ Inmersos en redes globales de flujos financieros turbulentos, los gobiernos tienen cada vez menos posibilidades de controlar la política económica de sus países, así como de cumplir las promesas del Estado de Bienestar tradicional. Luchan una batalla perdida contra una nueva economía delictiva globalizada, y su autoridad y legitimidad están cada día más en entredicho. Por si eso fuera poco, el

Estado se desintegra también desde dentro con la corrupción del proceso democrático, en la medida en que los actores de la escena política dependen cada vez más –particularmente en los Estados Unidos– de las grandes corporaciones y otros grupos de presión, que financian sus campañas electorales a cambio de políticas que favorezcan sus «intereses particulares».

La emergencia global de una extensa economía delictiva, así como su creciente interdependencia con la economía formal y con las instituciones políticas en todos los niveles, constituye una de las características más preocupantes de la nueva sociedad en red. En sus intentos desesperados por salir de la marginalidad individuos y grupos socialmente excluidos se convierten en presas fáciles para las organizaciones delictivas, que se han establecido en numerosos barrios pobres y han pasado a convertirse en una fuerza social y cultural significativa en muchas partes del mundo.⁵⁰ Por supuesto, la delincuencia no es algo nuevo, pero la operación en red global de poderosas organizaciones delictivas sí que es un fenómeno inédito hasta ahora y que afecta profundamente las actividades económicas y políticas en todo el mundo, como documenta Castells con gran detalle.⁵¹

Si bien el tráfico de drogas constituye la operación más significativa de las redes delictivas globales, el de armas tiene también un peso notable, junto con el de bienes y personas, el juego, los secuestros, la prostitución, la falsificación de moneda y documentos y numerosas otras actividades ilícitas. La legalización de las drogas sería un golpe terrible, probablemente, para la delincuencia organizada. Sin embargo, como señala Castells irónicamente, «[los narcotraficantes] pueden estar tranquilos. Los amparan la ceguera política y la moral equivocada de sociedades que no quieren aceptar el meollo de la cuestión: la demanda crea la oferta».⁵²

La violencia despiadada, ejecutada a menudo por asesinos a sueldo, constituye parte integrante de la cultura delictiva. Tan importantes como ella son, sin embargo, los agentes de la ley, jueces y políticos que están en nómina de las organizaciones delictivas, a quienes se denomina, cínicamente, el «aparato de seguridad» de la delincuencia organizada.

El blanqueo de dinero, que alcanza cifras de cientos de miles de millones de dólares, constituye la actividad central de la economía delictiva. El dinero lavado entra en la economía formal a través de complejos esquemas financieros y redes comerciales, e introduce así un elemento desestabilizador, pero invisible, en un sistema ya de por sí volátil, y hace aún más difícil el control de las políticas económicas nacionales. Es probable que crisis económicas en muchos lugares del mundo hayan tenido como origen actividades económicas delictivas. En Latinoamérica, en cambio, el narcotráfico* representa un segmento dinámico y seguro de las economías regionales y nacionales. La industria latinoamericana de la droga está movida por la demanda, orientada a la exportación y plenamente internacionalizada. A diferencia de la mayor parte del comercio legal, está controlada por completo por latinoamericanos.

Al igual que las organizaciones comerciales de la economía formal, las organizaciones delictivas de nuestros días se han reestructurado en redes, tanto en el ámbito interno como en sus relaciones entre sí. Se han consolidado alianzas estratégicas entre organizaciones delictivas alrededor del mundo, desde los cárteles de la droga colombianos hasta la Mafia siciliana, la Mafia estadounidense o las redes criminales rusas. Las nuevas tecnologías de la comunicación, en particular la telefonía móvil y los ordenadores portátiles, son utilizadas masivamente para comunicarse y realizar el seguimiento puntual de las operaciones. Los millonarios de la Mafia rusa pueden ahora realizar sus negocios en Moscú en tiempo real desde la seguridad de sus mansiones en California y sin perder ni un detalle del día a día de sus operaciones.

Según Castells, la potencia organizativa de la delincuencia global se basa en la combinación de una «organización flexible en red entre tapaderas locales, bien enraizadas en la tradición y la identidad dentro de un marco institucional favorable, y el alcance global proporcionado por las alianzas estratégicas».⁵³ Cas-

* En español en el original. (N. del T.)

tells opina que las redes delictivas actuales están, probablemente, más avanzadas que las propias corporaciones en su capacidad para combinar la identidad cultural local con los negocios globales.

Si la nación-estado pierde su autoridad y su legitimidad debido a las presiones de la economía global y a los efectos demoleedores de la delincuencia organizada, ¿quién va a ocupar su lugar? Castells señala que la autoridad política ha ido desplazándose hacia niveles regionales y locales, y especula que esta descentralización del poder podría dar paso a una nueva clase de organización política, el «estado red».⁵⁴ En una red social nodos diferentes pueden tener dimensiones distintas, por lo que las desigualdades políticas y las relaciones asimétricas de poder serán comunes. En cambio, todos los miembros de un estado red son interdependientes. Cuando se toman decisiones políticas, sus efectos sobre cada uno de sus miembros, hasta el más insignificante, deben ser tenidos en cuenta, puesto que afectarán ineludiblemente a toda la red.

La Unión Europea podría ser la manifestación más clara de este nuevo estado red. Las regiones y las ciudades tienen acceso a ella a través de sus gobiernos nacionales, pero están también interconectadas entre sí en horizontal mediante numerosas asociaciones que superan las fronteras nacionales. «La Unión Europea no suplantará a las naciones-estado existentes», concluye Castells, «sino que, por el contrario, constituye un instrumento fundamental para su supervivencia sobre la base de ceder porciones de soberanía a cambio de un mayor peso específico en el mundo.»⁵⁵

En el mundo de las corporaciones existe una situación parecida. Hoy día las empresas están cada vez más organizadas en redes descentralizadas de unidades más pequeñas, y están conectadas a redes de subcontratistas, proveedores y consultores. Por otro lado, unidades de redes distintas forman también alianzas estratégicas temporales y se implican en operaciones conjuntas. En estas estructuras en red, de geometrías siempre variables, no hay verdaderos centros de poder. En cambio, el poder corpora-

tivo total ha aumentado tremendamente en las últimas décadas, a medida que el tamaño de las corporaciones crece sin cesar por medio de incesantes fusiones y adquisiciones.

Durante los veinte últimos años las corporaciones transnacionales se han mostrado extraordinariamente agresivas, tanto para conseguir subsidios de los gobiernos de los países en los que operan como para exigirles exenciones fiscales. Pueden mostrarse despiadadas y arruinar a las pequeñas empresas rebajando sus precios, retienen y distorsionan sistemáticamente información sobre los peligros potenciales de sus productos y, mediante acuerdos de libre comercio, se han mostrado muy eficaces para coaccionar a los gobiernos a fin de que eliminen cualquier limitación.⁵⁶

Sin embargo, sería erróneo pensar que un puñado de megacorporaciones controla el mundo. Para comenzar, el poder económico real ha sido transferido a las redes financieras globales. Toda corporación depende de lo que sucede en esas complejas redes, que nadie controla. Existen en nuestros días miles de corporaciones, todas las cuales compiten y colaboran a la vez, pero ninguna de ellas por sí sola puede dictar las condiciones.⁵⁷

Esta difusión del poder corporativo es consecuencia directa de las propiedades de las redes sociales. En una jerarquía el ejercicio del poder constituye un proceso lineal y controlado. En una red, en cambio, ese ejercicio es un proceso no lineal que involucra a múltiples bucles de retroalimentación, con resultados a menudo imposibles de predecir. Dentro de la red, las consecuencias de cada acción se extienden por toda la estructura, y cualquier acción que promueva un objetivo particular puede tener consecuencias secundarias que actúen en contra de su consecución.

Resulta instructivo comparar esta situación con las redes ecológicas. Aunque pueda parecer que en un ecosistema hay especies más poderosas que otras, el concepto de poder no resulta adecuado, porque las especies no humanas (a excepción de algunos primates) no obligan a sus individuos a actuar de acuerdo con objetivos preconcebidos. Hay dominación, pero siempre tiene lugar dentro de un contexto más amplio de cooperación, in-

cluso en las relaciones entre predador y presa.⁵⁸ Al contrario de lo que se afirma a menudo, las múltiples especies de un ecosistema no forman jerarquías, sino que existen en redes dentro de redes.⁵⁹

Existe una diferencia crucial entre las redes ecológicas de la naturaleza y las redes corporativas de la sociedad humana. En un ecosistema ningún ser es excluido de la red. Cada especie, incluso la bacteria más insignificante, contribuye a la sostenibilidad del conjunto. Por el contrario, en el mundo humano de la riqueza y el poder grandes segmentos de la población quedan excluidos de las redes globales y pasan a ser económicamente irrelevantes. Los efectos del poder corporativo sobre los individuos y los grupos socialmente excluidos son espectacularmente distintos de los que tiene sobre quienes son miembros de la sociedad en red.

LA TRANSFORMACIÓN DE LA CULTURA

Las redes de comunicaciones que han conformado la nueva economía no tan sólo transmiten información sobre transacciones financieras y oportunidades de inversión, sino que incluyen también redes globales de noticias, de arte, de ciencia, de entretenimiento y demás expresiones culturales. También esas expresiones han sido profundamente transformadas por la Revolución de la Tecnología de la Información.⁶⁰

La tecnología ha hecho posible integrar la comunicación en un único «hipertexto» que combina sonidos e imágenes con palabras escritas y habladas. Puesto que la cultura es creada y sostenida por redes de comunicaciones humanas, cambiará con la transformación de los modos de comunicación.⁶¹ Manuel Castells asegura que «la emergencia de un nuevo sistema de comunicación, caracterizado por su alcance global, por su integración de todos los medios de comunicación y por su interactividad potencial, está cambiando para siempre nuestra cultura».⁶²

Como el resto del mundo corporativo, los medios de comunicación de masas se han convertido cada vez más en estruc-

turas en red, globalizadas y descentralizadas. Este cambio fue predicho ya en los sesenta por el visionario teórico de la comunicación Marshall McLuhan.⁶³ Con su famoso aforismo «El medio es el mensaje» McLuhan definió la naturaleza exclusiva de la televisión y señaló que, a causa de su capacidad de seducción y su poder para emular la realidad, constituye el medio de comunicación ideal para la publicidad y la propaganda.

En la mayoría de los hogares estadounidenses la radio y la televisión han creado un entorno audiovisual permanente que bombardea a oyentes y televidentes con una retahíla inacabable de mensajes publicitarios. Toda la programación de la televisión estadounidense está financiada por los anuncios y organizada en torno a ellos, de modo que la promoción del consumismo a ultranza, un valor netamente empresarial, es su met mensaje. La reciente cobertura de los Juegos Olímpicos de Sidney por la NBC constituye un craso ejemplo de una mezcla casi sin costuras de publicidad e información. En lugar de cubrir los Juegos, la NBC decidió «producirlos» para sus telespectadores, y «empaquetó» los programas en segmentos muy cortos de información entremezclados con anuncios, de tal modo que a menudo resultaba difícil distinguir entre anuncio y competición. Las imágenes de los atletas que competían eran repetidamente transformadas en símbolos sensibleros, que reaparecían segundos después en un anuncio. Como resultado de todo ello, la cobertura real de las pruebas deportivas fue mínima.⁶⁴

A pesar del bombardeo continuo de anuncios y de los miles de millones de dólares gastados cada año en él, los estudios realizados han demostrado una y otra vez que la publicidad mediática carece prácticamente de capacidad específica de influencia sobre el comportamiento del consumidor.⁶⁵ Este sorprendente descubrimiento constituye una prueba más de que los seres humanos, al igual que los demás sistemas vivos, no pueden ser dirigidos, sino únicamente perturbados. Como ya hemos visto, elegir a qué prestar atención y cómo responder a ello constituye la esencia misma de estar vivo.⁶⁶

Ello no significa que los efectos de la publicidad sean desdoblables. Puesto que los medios audiovisuales se han convertido

en los principales canales para la comunicación social y cultural de las sociedades urbanas modernas, la gente adopta sus imágenes simbólicas, sus valores y sus reglas de comportamiento a partir del contenido ofrecido por esos medios. Por consiguiente, las empresas y sus productos necesitan estar presentes en ellos para ganar reconocimiento de marca, pero el modo en que los individuos responderán a cada anuncio en concreto es algo que queda fuera del control de los publicitarios.

A lo largo de las dos últimas décadas las nuevas tecnologías han transformado hasta tal punto el mundo de los medios de información, que muchos observadores están convencidos de que la era de los medios de comunicación de masas, en el sentido tradicional de unos contenidos limitados enviados a una audiencia homogénea masiva, tiene los días contados.⁶⁷ La mayoría de los periódicos son hoy escritos, editados e impresos a distancia, con diferentes ediciones a la medida de mercados regionales que salen a la calle al mismo tiempo. Los vídeos domésticos se han convertido en una gran alternativa a la programación de las cadenas televisivas al permitir al usuario visionar programas y películas cuando le convenga. Por si fuera poco, ha habido además una verdadera explosión de televisión por cable, canales vía satélite y televisiones locales.

El resultado de todas esas innovaciones tecnológicas ha sido una extraordinaria diversificación del acceso a programas de radio y televisión, junto con el consecuente declive de las cotas de audiencia de las cadenas televisivas. En los Estados Unidos las tres principales cadenas de televisión captaban el noventa por ciento de la audiencia en hora punta en los ochenta, mientras que en 2000 esta cota había descendido al cincuenta por ciento y sigue bajando. Según Castells, la tendencia actual avanza decididamente hacia unos medios a la medida para audiencias segmentadas. Una vez que la gente pueda recibir un menú de canales mediáticos ajustado a sus gustos, estará dispuesta a pagar por ello, lo cual eliminará de esos canales la publicidad e incrementará la calidad de su programación.⁶⁸

El auge de la televisión de pago en los Estados Unidos —HBO, Showtime, Fox Sports, etcétera— no significa que el control corporativo sobre la televisión esté disminuyendo. Aunque algunos de esos canales estén libres de publicidad, siguen estando controlados por corporaciones que tratarán de anunciarse del modo que sea. Internet, por ejemplo, se ha convertido en el medio más reciente para la publicidad corporativa masiva. America On Line (AOL), proveedor líder en Internet, es esencialmente un centro comercial virtual saturado de anuncios. Aunque ofrece acceso a la red, sus veinte millones de suscriptores pasan el ochenta y cuatro por ciento del tiempo utilizando los servicios de AOL y tan sólo el dieciséis por ciento restante en la red abierta. Al unirse con el gigante mediático Time-Warner, AOL trata de incorporar a su dominio un inmenso arsenal ya existente de contenidos y canales de distribución, de modo que pueda poner a su clientela en manos de los principales anunciantes a través de una serie de plataformas mediáticas.⁶⁹

El mundo actual de los medios de comunicación está dominado por unos pocos conglomerados multimedia gigantes, como AOL-Time-Warner o ABC-Disney, redes inmensas de empresas más pequeñas unidas por múltiples clases de vínculos y alianzas estratégicas. De este modo el mundo de los medios, al igual que el de las corporaciones, está cada vez más descentralizado y diversificado, al mismo tiempo que el impacto general de las corporaciones sobre la vida de la gente sigue aumentando.

La integración de todas las modalidades de expresión cultural en un único hipertexto electrónico aún no se ha realizado, pero sus efectos en nuestras percepciones, de tener lugar, pueden intuirse partiendo de los contenidos actuales de los programas de la televisión por cable y la televisión convencional, junto con sus sitios asociados en la red. La cultura que creamos y sostenemos con nuestras redes de comunicaciones incluye no sólo nuestros valores, nuestras creencias y nuestras normas de conducta, sino también nuestra propia percepción de la realidad. Como han explicado los científicos de la cognición, los seres humanos

existen en el lenguaje. Al tejer continuamente una red lingüística coordinamos nuestro comportamiento y juntos alumbramos nuestro mundo.⁷⁰

Cuando esa red lingüística se convierta en un hipertexto de palabras, sonidos, imágenes y demás expresiones culturales, electrónicamente mediado y abstraído de la historia y de la geografía, influirá de modo muy profundo sobre nuestra forma de ver el mundo. Como señala Castells, en los medios electrónicos podemos observar una insidiosa confusión de los niveles de realidad.⁷¹ En la medida en que diferentes modalidades de comunicación toman prestados códigos y símbolos unas de otras, los boletines de noticias se parecen cada vez más a los debates, los juicios a las series y los reportajes sobre conflictos armados a las películas de acción, y se vuelve difícil distinguir lo virtual de lo real.

Puesto que los medios electrónicos, y en particular la televisión, se han convertido en los principales canales para comunicar ideas y valores al público, la política se desarrolla cada vez más en su ámbito.⁷² La presencia en los medios es tan esencial para los políticos como para las corporaciones y sus productos. En la mayoría de las sociedades el político que no está presente en las redes electrónicas de comunicación mediática no tiene prácticamente oportunidad alguna de hacerse con el favor del público: será un mero desconocido para la mayoría de los votantes.

Con la confusión de niveles de realidad entre noticias y entretenimiento, información y publicidad, la política se parece cada vez más al teatro. Los políticos con más éxito no son ya los que presentan los programas más interesantes, sino los que «quedan» mejor en televisión y son más expertos en manipular símbolos y códigos culturales. «Promocionar» candidatos —es decir, hacer atractivos sus nombres y sus rostros asociándolos firmemente a símbolos seductores para la mente de los telespectadores— se ha vuelto tan importante para la política como lo es para el marketing corporativo. A un nivel fundamental, el poder político reside en la habilidad para utilizar símbolos y códigos culturales eficazmente, con el objetivo de encuadrar un dis-

curso político en los medios de comunicación. Como subraya Castells, eso significa que las batallas por el poder son, en la Era de la Información, batallas culturales.⁷³

LA CUESTIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD

En los últimos años, los impactos sociales y ecológicos de la nueva economía han sido ampliamente debatidos por intelectuales y líderes sociales, como ha quedado documentado en las páginas precedentes. Sus análisis han dejado indiscutiblemente claro que el capitalismo global, en su modalidad presente, es insostenible y necesita ser rediseñado desde sus raíces. Este nuevo diseño es hoy día postulado incluso por algunos «capitalistas ilustrados», preocupados por la naturaleza altamente volátil y el potencial autodestructivo del sistema actual. El mago de las finanzas George Soros, uno de los jugadores más hábiles del casino global, ha comenzado a referirse desde hace poco a la doctrina neoliberal de la globalización económica con la expresión «fundamentalismo del mercado», y opina que resulta tan peligrosa como cualquier otra forma de fundamentalismo.⁷⁴

Además de ser económicamente inestable, el actual sistema de capitalismo global es ecológica y socialmente insostenible, y, por consiguiente, inviable a largo plazo. El resentimiento contra la globalización económica crece con rapidez en todo el mundo. El destino final del capitalismo global bien pudiera ser, como dice Manuel Castells, «el rechazo social, cultural y político, por parte de muchísima gente en todo el mundo, de un autómatas cuya lógica o bien ignora o bien devalúa su humanidad».⁷⁵ Como veremos más adelante, tal vez ese rechazo haya comenzado ya.⁷⁶

6. LA BIOTECNOLOGÍA EN LA ENCRUCIJADA

Al enumerar las tecnologías de vanguardia del siglo XX no tendemos a pensar tan sólo en las de la información, sino también en la biotecnología. Al igual que la Revolución Tecnológica de la Información, la «Revolución Biotecnológica» partió de algunas innovaciones decisivas de los años setenta y alcanzó su punto culminante en los noventa.

La ingeniería genética es considerada en ocasiones una forma particular de tecnología de la información, en la medida en que implica la manipulación de «información» genética. Sin embargo, existen algunas diferencias fundamentales y muy interesantes entre ambas tecnologías. Mientras que la comprensión y el uso de redes constituye el fundamento de la Revolución Tecnológica de la Información, la ingeniería genética se basa en un planteamiento lineal y mecanicista de elementos básicos y desdeñó hasta hace muy poco las redes celulares, cruciales en toda función biológica.¹ A medida que nos adentramos en el siglo XXI resulta fascinante observar que los últimos avances en genética obligan a los biólogos moleculares a cuestionarse muchos de los conceptos fundamentales sobre los cuales se basaron inicialmente sus investigaciones. Esta observación constituye el tema central de la brillante evaluación de la genética en este cambio de siglo llevada a cabo por la bióloga e historiadora de la ciencia Evelyn Fox Keller, cuyos argumentos seguiré a lo largo de gran parte del presente capítulo.²

En palabras de la bióloga molecular Mae-Wan Ho, la ingeniería genética es «un conjunto de técnicas para aislar, modificar, multiplicar y recombinar genes de distintos organismos».³ Esta técnica permite a los científicos transferir genes entre especies que nunca se habrían hibridado de forma natural tomando, por ejemplo, genes de un pescado e introduciéndolos en una frambuesa o en un tomate, o traspasando genes humanos a una vaca o a un cordero para crear de este modo organismos «transgénicos».

La ciencia de la genética culminó con el descubrimiento de la estructura física del ADN y el desciframiento del código genético en los años cincuenta,⁴ pero tendrían que transcurrir veinte años más para que se desarrollaran otras dos técnicas indispensables para la ingeniería genética. La primera, conocida como «secuenciado del ADN», implica la capacidad para determinar la secuencia exacta de los elementos genéticos (las bases nucleótidas) de un fragmento de la doble hélice de ADN. La segunda, o «empalme de genes», consiste en cortar y unir fragmentos de ADN con la ayuda de enzimas específicas, aisladas a partir de microorganismos.⁵

Es importante comprender que los genetistas no pueden insertar directamente genes extraños en una célula, debido a las barreras naturales entre especies y a otros mecanismos protectores que rompen o inactivan el ADN foráneo. Para obviar estos obstáculos, los científicos incorporan primero el gen ajeno a un virus, o a elementos parecidos a los virus empleados de forma habitual por las bacterias para intercambiar genes.⁶ Estos «vectores de transferencia» son entonces empleados para introducir los genes ajenos en las células receptoras seleccionadas, donde el vector, junto con los genes a él incorporados, se inserta en el ADN de la célula. Si todos los pasos de esta secuencia altamente compleja salen según lo previsto —lo cual es muy poco frecuente—, el resultado será un nuevo organismo transgénico. Otra técnica importante de empalme de genes consiste en producir co-

pias de secuencias de ADN insertándolas en bacterias (también mediante vectores), donde se replican rápidamente.

La utilización de vectores para insertar genes del organismo donante al organismo receptor constituye una de las múltiples razones por las que el proceso de ingeniería genética es arriesgado por naturaleza. Vectores agresivamente infecciosos podrían recombinarse con facilidad con virus patógenos ya existentes y generar nuevas cepas virulentas. En su esclarecedora obra *Genetic Engineering—Dream or Nightmare?*, Mae-Wan Ho especula con que la emergencia de una plétora de nuevos virus y de resistencias a los antibióticos en la década pasada podría muy bien estar directamente relacionada con las aplicaciones comerciales a gran escala de la biotecnología durante el mismo período.⁷

Desde los primeros días de la ingeniería genética los científicos han sido conscientes del peligro de crear inadvertidamente cepas virulentas de virus o bacterias. En los años setenta y ochenta procuraron que los organismos transgénicos experimentales que creaban quedaran confinados entre las cuatro paredes de sus laboratorios, puesto que no consideraban seguro liberarlos al medio ambiente. En el año 1975 un grupo de genetistas preocupados por esas cuestiones se reunió en Asilomar, California, donde redactó la Declaración de Asilomar, que pedía la interrupción de las investigaciones hasta que se hubieran establecido normas reguladoras adecuadas.⁸

Lamentablemente, esta actitud precavida y responsable fue abandonada en gran medida en los noventa, en una loca carrera por la comercialización de las tecnologías genéticas recientemente desarrolladas y su aplicación práctica a la medicina y la agricultura. Al principio se organizaron pequeñas compañías en torno a algunos premios Nobel, en las principales universidades y en centros de investigación médica. Pocos años después esas empresas fueron adquiridas por gigantes de las industrias química y farmacéutica, que bien pronto se convirtieron en agresivos promotores de la biotecnología.

Los noventa fueron testigos de varias noticias sensacionales sobre «clonación» de animales, que incluyeron la de una oveja

en el Instituto Roslin de Edimburgo y la de varios ratones en la Universidad de Hawai.⁹ Mientras tanto la biotecnología vegetal invadía la agricultura con notable rapidez. Sólo entre 1996 y 1998 la extensión total dedicada a cultivos transgénicos se multiplicó por más de diez, y pasó de algo menos de tres millones y medio de hectáreas a casi cuarenta millones.¹⁰ Esta liberación masiva de organismos genéticamente modificados (OGM) al medio ambiente añadía una nueva categoría de riesgo ambiental a los problemas ya existentes con la biotecnología.¹¹ Lamentablemente, esos riesgos acostumbra a ser desdeñados por los genetistas, que no suelen distinguirse por su formación y sus conocimientos en ecología.

Como señala Mae-Wan Ho, las técnicas de ingeniería genética son hoy día diez veces más rápidas y poderosas que hace veinte años, nuevas variantes de OGM, diseñados de manera específica para ser ecológicamente vigorosos, están siendo liberados a gran escala sin ningún miramiento, y a pesar del grave aumento de los riesgos potenciales que ello significa, no se ha producido ninguna nueva declaración conjunta de científicos al respecto; bien al contrario, los organismos con capacidad de regulación han cedido repetidamente a las presiones corporativas y han relajado aún más unas normas de seguridad ya de por sí inadecuadas.¹²

Con el auge del capitalismo global, en los años noventa, su mentalidad de poner el beneficio económico por encima de cualquier otro valor le hizo adoptar la causa de la biotecnología dejando de lado, evidentemente, cualquier consideración ética. Muchos de los principales genetistas de nuestros días son propietarios de compañías de biotecnología o tienen lazos estrechos con ellas. La motivación subyacente en la ingeniería genética no es ya el avance científico, la lucha contra las enfermedades o la eliminación del hambre de la faz del globo, sino la carrera por asegurarse unos beneficios económicos sin precedentes.

La mayor y tal vez más competitiva empresa biotecnológica, hasta ahora, ha sido el Proyecto Genoma Humano, el intento de identificar y cartografiar la secuencia genética comple-

ta de la especie humana, que contiene decenas de millares de genes. En la década de los noventa, este esfuerzo se convirtió en una loca carrera entre un proyecto financiado por el gobierno, que ponía sus descubrimientos a disposición del público, y un grupo privado de genetistas que mantenía en secreto sus hallazgos, con el objetivo de patentarlos y vendérselos a las empresas de biotecnología. Cuando esa carrera llegó a su dramática etapa final, su resultado fue decidido por un héroe imprevisto, un joven graduado que, en solitario, diseñó el programa informático que permitió al proyecto público ganar por tres días e impidió así el control privado de la comprensión científica de la genética humana.¹³

El Proyecto Genoma Humano comenzó en 1990 como un programa de colaboración entre varios equipos de destacados genetistas coordinados por James Watson (que, junto con Francis Crick, había descubierto en 1957 la doble hélice del ADN), y fue financiado por el gobierno estadounidense con la friolera de tres mil millones de dólares. Se esperaba disponer de un borrador aproximado hacia el año 2001, pero mientras estos esfuerzos seguían su camino, el consorcio Celera Genomics, dotado de mayor poder informático y de fondos procedentes del capital-riesgo, rebasó al proyecto público y comenzó a patentar sus datos para asegurarse la exclusividad sobre los derechos comerciales de la manipulación de genes humanos. Como respuesta, el proyecto público, que se había convertido ya en un consorcio internacional dirigido por el genetista Francis Collins, comenzó a publicar diariamente sus hallazgos por Internet, a fin de que fueran de dominio público y no pudieran ser patentados.

Hacia diciembre de 1999 el consorcio público había identificado cuatrocientos mil fragmentos de ADN, la mayoría de longitud menor que la de un gen medio, pero no tenía la menor idea de cómo orientar y unir esos fragmentos «dudosamente merecedores de ser denominados secuencias», como decía en tono de burla su competidor, el biólogo Craig Venter, fundador de Celera Genomics. En esta misma fase David Haussler, profesor de informática en la Universidad de California en Santa

Cruz, se unió al consorcio. Haussler estaba convencido de que con los datos acumulados había información suficiente para diseñar un programa informático que uniera los fragmentos adecuadamente.

Sin embargo, el progreso seguía siendo penosamente lento. En mayo de 2000 Haussler le confesó a James Kent, uno de sus graduados, que la posibilidad de terminar antes que Celera parecía «dudosa». Como a muchos otros científicos, preocupaba sobremanera a Kent que las futuras investigaciones acerca del genoma humano quedaran en manos de empresas privadas si sus datos secuenciales no se llegaban a hacer públicos antes de que fuera patentado. Al escuchar de labios de su profesor que el proyecto público avanzaba con demasiada lentitud, le respondió que creía poder diseñar un programa de montaje basado en una estrategia más sencilla, pero mejor.

Cuatro semanas más tarde, tras haber trabajado día y noche y haberse destrozado las muñecas en largas sesiones de furioso tecleo, James Kent había escrito diez mil líneas de programación y había completado el primer montaje del genoma humano. «Ese chico es increíble», declaró Haussler a *The New York Times*. «Este programa representa una cantidad de trabajo que hubiera requerido el esfuerzo de seis meses a un año de un equipo de entre cinco y diez programadores. Jim [solo] ha creado en cuatro semanas [...] esta obra maestra de programación extraordinariamente compleja.»¹⁴

Además de este programa de montaje, apodado «el sendero dorado», Kent creó otro, conocido como «hojeador», que permite a los científicos visionar gratis la secuencia completa reconstruida del genoma humano sin necesidad de suscribirse a la base de datos de Celera. La carrera por el genoma humano finalizó oficialmente varios meses después, cuando los científicos de ambos equipos publicaron sus resultados en la misma semana, el consorcio público en *Nature* y Celera Genomics en *Science*.¹⁵

Mientras estaba en plena ebullición la carrera por cartografiar el genoma humano, los propios éxitos de este y otros esfuerzos por secuenciar el ADN desencadenaron una revolución conceptual en genética que podría muy bien acabar demostrando la futilidad de cualquier esperanza de que la cartografía genómica humana conduzca pronto a aplicaciones prácticas tangibles. Para usar el código genético con el objetivo de influir en el funcionamiento del organismo —a fin de prevenir o curar enfermedades, por ejemplo— es necesario saber no tan sólo dónde están ubicados determinados genes específicos, sino también cómo funcionan. Tras haber secuenciado grandes porciones del genoma humano y cartografiado genomas completos de varias especies vegetales y animales, los científicos desplazaron, naturalmente, su atención de la estructura de los genes a su función. Al hacerlo se dieron cuenta de cuán limitado es todavía nuestro conocimiento de las funciones de los genes. Como señala Evelyn Fox Keller: «Los recientes avances en biología molecular nos han proporcionado una nueva apreciación de la magnitud del abismo que media entre información genética y significado biológico.»¹⁶

Durante varias décadas, después de los descubrimientos de la doble hélice del ADN y del código genético, los biólogos moleculares creyeron que el «secreto de la vida» residía en las secuencias de los elementos genéticos a lo largo de las cadenas del ADN. Si se conseguía identificar y descifrar esas secuencias —se argumentaba—, se podrían comprender los «programas» determinantes de las estructuras y los procesos biológicos. Hoy día pocos biólogos se atreven a seguir manteniendo esa creencia. Las complejas técnicas de secuenciado de ADN recientemente desarrolladas, junto con las investigaciones genéticas relacionadas con ellas, demuestran que los conceptos tradicionales del «determinismo genético» —incluyendo el de programa genético, y tal vez incluso el propio concepto de gen— deben ser cuestionados y necesitan de una revisión radical.

Tiene lugar un cambio profundo de énfasis, que pasa de la estructura de las secuencias genéticas a la organización de las redes metabólicas. Se trata de un movimiento que va de la visión reduccionista al planteamiento sistémico. En palabras de James Bailey, genetista del Instituto de Biotecnología de Zurich: «El actual alud de secuencias genéticas completas [...] exige un cambio radical en la investigación en biociencia hacia la integración y el comportamiento de sistemas.»¹⁷

ESTABILIDAD Y CAMBIO

Para apreciar la magnitud y la extensión de este cambio conceptual necesitamos repasar los orígenes de la genética, tanto en la teoría de Darwin sobre la evolución como en la de Mendel sobre la herencia. Cuando Charles Darwin formuló su teoría en términos de los conceptos gemelos de «variación accidental» (que más tarde recibiría la denominación de «mutación aleatoria») y de «selección natural», quedó bien pronto claro que las variaciones accidentales, tal como las concebía Darwin, no podían explicar la emergencia de nuevas características en la evolución de las especies. Darwin compartía con sus coetáneos la presuposición de que las características biológicas de un individuo representaban una mezcla de las de sus progenitores, los cuales contribuían a esa mezcla en proporciones variables. Eso quería decir que el descendiente de un progenitor con una variación accidental útil heredaría tan sólo el cincuenta por ciento de esa característica, y no podría transmitir más que el veinticinco por ciento de la misma a la generación siguiente, de modo que la nueva característica quedaría bien pronto diluida, con escasas probabilidades de establecerse a través de la selección natural.

A pesar de que la teoría de Darwin sobre la evolución introdujo una comprensión del origen y de la transformación de las especies radicalmente nueva, que acabaría consolidándose como uno de los logros más sobresalientes de la ciencia moderna, no conseguía explicar la persistencia de rasgos de nueva evo-

lución, y todavía menos la observación, más general, de que, en cada sucesiva generación, los organismos vivos, al crecer y desarrollarse, muestran invariablemente las características típicas de su especie. Esta notable estabilidad se aplica incluso a las características individuales, como resulta fácil de comprobar con el evidente parecido entre miembros de una misma familia, que a menudo es transmitido fielmente de generación en generación.

El propio Darwin reconoció que la incapacidad de su teoría para explicar la constancia de los rasgos hereditarios constituía una laguna importante en ella, para la cual no encontraba remedio. Irónicamente, la solución a este problema, que llegó de la mano de Gregor Mendel sólo unos pocos años después de la publicación de *Origin of Species* de Darwin, permaneció ignorada durante décadas hasta su redescubrimiento, a principios del siglo XX.

Partiendo de sus cuidadosos experimentos con guisantes, Mendel dedujo la existencia de unas «unidades de herencia» (que más tarde se denominarían «genes») que no se mezclaban en el proceso de reproducción, sino que eran transmitidas de generación en generación sin modificar su identidad. Partiendo de ese descubrimiento, cabía inferir que las mutaciones aleatorias no desaparecían en pocas generaciones, sino que eran preservadas para ser o bien reforzadas o bien eliminadas por la selección natural.

Con el descubrimiento de la estructura física de los genes realizado por Watson y Crick, en los años cincuenta, la estabilidad genética pasó a ser comprendida en términos de la fiel replicación de la doble hélice del ADN, y, consecuentemente, las mutaciones se entendieron como errores ocasionales y muy raros en ese proceso. En las décadas siguientes esa visión de la genética establecería el concepto de los genes como unidades hereditarias estables y claramente distintas.¹⁸

Sin embargo, los recientes avances en biología molecular desafían seriamente nuestra comprensión de la estabilidad genética y, por consiguiente, la imagen de los genes como agentes

causales de la vida biológica, profundamente embebida tanto en el pensamiento científico como en el popular. Según explica Evelyn Fox Keller:

Sin duda, la estabilidad genética sigue siendo una propiedad, tan notable como siempre, de todos los organismos vivos conocidos. La dificultad surge cuando se plantea la cuestión de cómo se mantiene esa estabilidad, y ésta ha resultado ser mucho más compleja de lo que nunca hubiéramos podido imaginar.¹⁹

Cuando los cromosomas de una célula se duplican en el proceso de división celular, sus moléculas de ADN se dividen de tal modo que las dos cadenas de la doble hélice se separan y cada una de ellas sirve como plantilla para la formación de una nueva cadena complementaria. Esta autorreplicación tiene lugar con pasmosa fidelidad. La posibilidad de errores de copia, o mutaciones, es apenas de uno cada diez mil millones.

Esta extrema fidelidad al modelo inicial, que constituye la base de la estabilidad genética, no es tan sólo consecuencia de la estructura física del ADN. De hecho, la molécula de ADN por sí sola no puede autorreplicarse, sino que necesita enzimas específicas que faciliten cada uno de los pasos del proceso de autorreplicación.²⁰ Una clase de enzimas ayuda a las dos cadenas progenitoras a desligarse, mientras que otra impide que las cadenas separadas se unan de nuevo entre sí y otras muchas seleccionan los elementos genéticos (o «bases») adecuados para la unión complementaria, comprueban la exactitud de las bases recientemente añadidas, corrigen posibles errores y reparan daños accidentales en la estructura del ADN. Sin todo este complejo sistema de monitorización, corrección de pruebas y reparación, los errores en el proceso de autorreplicación se multiplicarían de modo espectacular. En lugar de una cada diez mil millones, se copiaría erróneamente una de cada cien bases, según las estimaciones actuales.²¹

Los descubrimientos más recientes demuestran claramente

que la estabilidad genética no es inherente a la estructura del ADN, sino que constituye una propiedad emergente, resultado de la compleja dinámica de toda la red celular. En palabras de Keller:

La estabilidad de la estructura genética ya no parece, pues, un punto de partida, sino un producto final, resultado de una dinámica muy bien orquestada que requiere la participación de gran número de enzimas, organizadas en complejas redes metabólicas que regulan y aseguran tanto la estabilidad de la molécula de ADN como la fidelidad de su replicación.²²

Cuando una célula se replica, no tan sólo traspasa su doble hélice de ADN recién replicada, sino también todo el conjunto de enzimas indispensables, junto con membranas y otras estructuras necesarias, en otras palabras, toda la red celular. De este modo el metabolismo celular puede proseguir sin romper en ningún momento sus patrones en red autogénéticos.

En sus esfuerzos por comprender la compleja orquestación de la actividad enzimática que da pie a la estabilidad genética, los biólogos se quedaron asombrados al descubrir recientemente que la fidelidad de la replicación del ADN no es siempre maximizada. Al parecer, hay ciertos mecanismos que generan activamente errores de copia relajando alguno de los procesos de control. Es más, parece que cuándo y dónde se incrementan de ese modo los niveles de mutación depende tanto del propio organismo como de las condiciones en las que se encuentra.²³ En todo organismo vivo hay un sutil equilibrio entre su estabilidad genética y su «mutabilidad», o capacidad para producir activamente mutaciones.

La regulación de la mutación constituye uno de los hallazgos más fascinantes de la investigación genética de nuestros días. Según Keller, se ha convertido en uno de los temas más candentes de la biología molecular. «Gracias a las nuevas técnicas analíticas ahora disponibles», explica, «muchos de los aspectos de la maquinaria bioquímica involucrados en esa regulación

han quedado aclarados, pero con cada aclaración la imagen se va haciendo más y más compleja por el aumento de detalles que conlleva.»²⁴

Sea cual fuere la dinámica específica que acabe siendo descubierta, las implicaciones de la mutabilidad genética para la comprensión de la evolución son enormes. En la visión convencional neodarwinista el ADN es considerado una molécula estable sujeta a ocasionales mutaciones aleatorias, por lo que, consecuentemente, la evolución habría sido guiada por el azar, tras lo cual habría ocurrido la selección natural.²⁵ Los nuevos descubrimientos en genética obligarán a los biólogos a adoptar la visión, radicalmente distinta, de que las mutaciones son activamente generadas y reguladas por la red epigenética de la célula, así como de que la evolución es parte integrante de la autoorganización de los sistemas vivos. El biólogo molecular James Shapiro ha escrito lo siguiente:

Esos descubrimientos moleculares conducen a nuevos conceptos sobre la organización y reorganización de los genomas y abren un amplio abanico de posibilidades para reflexionar acerca de la evolución. En lugar de quedar limitados a la contemplación de un lento proceso dependiente de una variación genética aleatoria (es decir, ciega) [...] tenemos ahora libertad para especular en términos moleculares realistas acerca de la rápida reestructuración del genoma guiada por redes biológicas de retroalimentación.²⁶

Esta nueva visión de la evolución como parte de la autoorganización de la propia vida queda reforzada por la investigación extensiva en el campo de la microbiología, que ha demostrado que las mutaciones son únicamente una de las tres vías del cambio evolutivo; las otras dos son el intercambio de genes entre bacterias y la simbiogénesis, o creación de nuevas formas de vida por medio de la unión de especies distintas. La reciente cartografía del genoma humano ha demostrado que muchos genes humanos se originaron a partir de bacterias, lo que con-

firma una vez más la teoría de la simbiogénesis propuesta por la microbióloga Lynn Margulis hace más de treinta años.²⁷ Considerados en conjunto, esos avances en genética y microbiología equivalen a un cambio espectacular en la teoría de la evolución: del énfasis neodarwinista sobre «azar y necesidad» se pasa a una visión sistémica que contempla el cambio evolutivo como una manifestación más de la autoorganización de la vida.

Puesto que el concepto sistémico de la vida identifica también la actividad autoorganizadora de los organismos con la cognición,²⁸ en última instancia, la evolución tiene que ser entendida como un proceso cognitivo. Como reflexionaba de forma profética la genetista Barbara McClintock, en su discurso de aceptación del Premio Nobel en 1983:

En el futuro la atención se centrará, sin duda, en el genoma, y con una apreciación mucho mayor de su importancia como órgano sumamente sensitivo de la célula, que controla las actividades genómicas y corrige los errores comunes, y detecta los acontecimientos inusuales e inesperados y responde en consecuencia.²⁹

MÁS ALLÁ DEL DETERMINISMO GENÉTICO

Resumiendo el primer descubrimiento importante de los avances recientes en investigación genética, podemos afirmar que la estabilidad de los genes —de las «unidades de herencia»— no es una propiedad intrínseca de la molécula de ADN, sino que emerge de una compleja dinámica de procesos celulares. Equipados con esta nueva comprensión de la estabilidad genética, pasemos ahora a ocuparnos de la cuestión central de la genética: ¿Qué hacen exactamente los genes? ¿Cómo originan rasgos y modos de comportamiento hereditarios característicos? Después del descubrimiento de la doble hélice del ADN y de su mecanismo de autorreplicación, los biólogos moleculares tardaron una década en estar en condiciones de responder a esa

pregunta. Fueron de nuevo James Watson y Francis Crick quienes llevaron la delantera.³⁰

Para expresarlo en términos sumamente simplificados, los procesos celulares subyacentes en las formas de vida y su comportamiento son catalizados por enzimas, y éstas son especificadas por genes. Para producir una enzima específica, la información codificada en el gen correspondiente (es decir, la secuencia de bases nucleótidas en la cadena de ADN que expresa ese gen) es copiada en un segmento complementario de ARN. La molécula de ARN actúa como mensajera y transporta la información genética a un ribosoma, estructura celular en la que son producidas las enzimas y otras proteínas. En el ribosoma la secuencia genética es traducida a instrucciones para el montaje de una serie de aminoácidos, los elementos básicos que forman las proteínas. El popular código genético consiste en la correspondencia precisa por medio de la cual tripletes sucesivos de bases genéticas, transportados por el segmento de ARN, son traducidos a una secuencia de aminoácidos en la molécula proteínica.

Con estos descubrimientos la respuesta a la cuestión de la función de los genes parecía tentadoramente simple y convincente: los genes codifican las enzimas, que son, a su vez, los catalizadores necesarios para todos los procesos celulares. Por consiguiente, los genes determinan los rasgos y los comportamientos biológicos, y cada gen corresponde a una enzima específica. Esta explicación se conoce como «dogma central» de la biología molecular de Francis Crick. Describe una cadena lineal de causa y efecto que va del ADN al ARN, a las proteínas (enzimas) y a los rasgos y comportamientos biológicos. Es la secuencia que se ha convertido en sentencia habitual para los biólogos moleculares: «El ADN hace ARN, el ARN hace proteínas, las proteínas nos hacen a nosotros.»³¹ El dogma central incluye la afirmación de que su cadena lineal causal define un flujo de información en una sola dirección, de los genes a las proteínas, sin posibilidad alguna de retroalimentación en sentido contrario.

La cadena lineal establecida por el dogma central es, en realidad, demasiado simplista para describir los procesos reales in-

volucrados en la síntesis de proteínas. La discrepancia entre el marco teórico y la realidad biológica se acentúa aún más cuando la cadena lineal se reduce a sus dos extremos, ADN y rasgos, de forma que el dogma central se convierte en el enunciado «los genes determinan el comportamiento». Este punto de vista, conocido como determinismo genético, se ha convertido precisamente en la base conceptual de la ingeniería genética y es promocionado con gran vigor por la industria biotecnológica y repetido sin cesar en los medios de comunicación: una vez que conozcamos la secuencia exacta de las bases del ADN, comprenderemos cómo causan los genes el cáncer, la inteligencia humana o el comportamiento violento.

El determinismo genético ha sido el paradigma dominante en la biología molecular durante las cuatro últimas décadas, a lo largo de las cuales ha generado infinidad de convincentes metáforas. El ADN es a menudo equiparado al «programa» o «anteproyecto» genético, o al «libro de la vida», mientras que el código genético es denominado «lenguaje universal de la vida». Como señala Mae-Wan Ho, la atención exclusiva sobre los genes ha eclipsado casi por completo al organismo a los ojos de los biólogos. El organismo vivo tiende a ser visto como un mero montón de genes, totalmente pasivo, sujeto a mutaciones aleatorias y a las fuerzas selectivas del entorno, sobre las cuales carece de cualquier control.³²

Según el biólogo molecular Richard Strohman, la falacia fundamental del determinismo genético reside en una confusión de niveles. Una teoría que funcionaba bien, al menos inicialmente, para comprender el código genético —cómo codifican los genes la información necesaria para la producción de proteínas— ha sido extendida a una teoría sobre la vida que considera a los genes agentes causales de todos los fenómenos biológicos. «En biología estamos mezclando nuestros niveles, y eso no funciona», concluye Strohman. «La extensión ilegítima de un paradigma genético desde un nivel relativamente simple de codificación y descodificación genéticas a un nivel complejo de comportamiento celular constituye un error epistemológico de primer orden.»³³

Los problemas con el dogma central se hicieron evidentes a finales de los setenta, cuando los biólogos extendieron su investigación genética más allá de las bacterias. Bien pronto descubrieron que, a diferencia de lo que ocurre en éstas, en los organismos superiores no se da ya la simple correspondencia entre secuencias de ADN y secuencias de aminoácidos en proteínas: el cómodo principio de «a cada gen su proteína» tenía que ser descartado. De hecho —y no parece descabellado—, se diría que los procesos de síntesis proteínica se tornan más complejos a medida que aumenta la complejidad del organismo estudiado.

En los organismos superiores los genes que codifican proteínas tienden más a estar fragmentados que a formar secuencias continuas.³⁴ Consisten en fragmentos codificadores intercalados en largas secuencias no codificadoras cuya función no se conoce bien todavía. La proporción de ADN codificador es muy variable, y en algunos organismos puede ser de tan sólo un uno o un dos por ciento. El resto es denominado a menudo «ADN basura». Sin embargo, habida cuenta de que la selección natural ha preservado esos segmentos no codificadores durante toda la historia de la evolución, parece razonable suponer que su papel sea importante, aun cuando de momento constituya para nosotros un misterio.

De hecho, el complejo panorama genético revelado por la cartografía del genoma humano contiene algunas pistas intrigantes acerca de la evolución humana, una especie de registro fósil genético consistente en «genes saltarines» que se salieron de sus cromosomas en nuestro pasado evolutivo remoto, se replicaron de forma independiente y luego reinsertaron sus propias copias en diversas secciones del genoma principal. Su distribución indica que algunas de esas secuencias no codificadoras podrían contribuir a la regulación general de la actividad genética.³⁵ En otras palabras, no son «basura», ni mucho menos.

Cuando un gen fragmentado es copiado en un segmento de ARN, esta copia debe ser procesada antes de que se inicie la producción de la proteína. Entran entonces en acción enzimas

específicas, que suprimen los segmentos no codificadores y unen los segmentos codificadores remanentes para formar una transcripción acabada: el ARN mensajero está ya procesado y listo para la síntesis proteínica.

Este procesamiento no es único, ya que las secuencias codificadoras pueden ser unidas de varias maneras. Cada variante redundará en una proteína diferente. De este modo pueden ser producidas diferentes proteínas —en ocasiones hasta varios centenares, según las estimaciones más recientes— a partir de una misma secuencia genética primaria.³⁶ Eso significa que hay que abandonar el principio de que cada gen codifica la producción de una enzima (u otra proteína) específica. Qué enzima será producida ya no puede ser deducido de la secuencia genética del ADN. Keller afirma:

La señal (o señales) que determina(n) el patrón específico en que se formará la transcripción final [...] [procede(n) de] la compleja dinámica reguladora de la célula como un todo [...] Descubrir la estructura de ese sistema de señales se ha convertido en uno de los principales objetivos de la biología molecular contemporánea.³⁷

Otra sorpresa reciente ha consistido en el descubrimiento de que la dinámica reguladora de la red celular no sólo especifica qué proteína va a ser producida a partir de determinado gen fragmentado, sino también cómo va a funcionar. Se sabía desde hace algún tiempo que una proteína puede funcionar de muchas formas diversas, dependiendo de su contexto. Los científicos han descubierto ahora que la compleja estructura tridimensional de la molécula proteínica puede ser modificada por una serie de mecanismos celulares, y que estos cambios alteran la función de la proteína.³⁸ En resumen, la dinámica celular puede conducir tanto a la emergencia de numerosas proteínas a partir de un solo gen como de diversas funciones para una misma proteína, todo lo cual dista mucho, ciertamente, de la cadena lineal de causa y efecto que postula el dogma central.

Cuando desviamos la atención del gen aislado al genoma entero y, consecuentemente, de la producción de la proteína a la formación de todo el organismo, nos topamos con otra serie distinta de problemas en relación con el determinismo genético. Por ejemplo, cuando las células se dividen en la formación de un embrión, toda nueva célula recibe exactamente el mismo conjunto de genes; cada una de ellas se especializa, sin embargo, de formas muy distintas, y así se originan las células musculares, las sanguíneas, las nerviosas, etcétera. Partiendo de esta observación, hace varias décadas los biólogos del desarrollo llegaron a la conclusión de que los distintos tipos de células no difieren entre sí porque contengan genes diferentes, sino porque los genes activos varían en cada tipo. En otras palabras, la estructura del genoma es única para todas las células, pero sus patrones de actividad son distintos. La pregunta es entonces la siguiente: ¿qué causa las diferencias en la actividad de los genes, o en su «expresión», como técnicamente se conoce? Según explica Keller: «Los genes no *actúan* porque sí: necesitan ser *activados*.»³⁹ Se conectan y desconectan respondiendo a determinadas señales.

Una situación parecida surge cuando comparamos los genomas de diferentes especies. Recientes investigaciones genéticas han mostrado sorprendentes similitudes entre los genomas respectivos de humanos y chimpancés, e incluso entre los de humanos y ratones. Los genetistas creen actualmente que el plan básico del cuerpo del animal se forma a partir de conjuntos de genes muy parecidos en todo el reino animal.⁴⁰ Aun así, el resultado final consiste en una inmensa variedad de criaturas distintas. Una vez más, el secreto de las diferencias parece ocultarse en los respectivos patrones de expresión de los genes.

Para resolver el problema de la expresión genética, a principios de los sesenta los biólogos moleculares François Jacob y Jacques Monod introdujeron, de forma sumamente ingeniosa, la distinción entre «genes estructurales» y «genes reguladores». Según ellos, los estructurales son los que codifican las proteínas, mientras que los reguladores controlan los niveles de transcripción de ADN y regulan, por consiguiente, la expresión de los genes.⁴¹

Al asumir que esos mecanismos reguladores son también genéticos Jacob y Monod se las arreglaron para mantenerse dentro del determinismo genético, hecho que subrayaron con la utilización de la metáfora de un «programa genético» para describir el proceso de desarrollo biológico. Dado que la informática se imponía por aquel entonces como una disciplina apasionante y de vanguardia, la metáfora del programa genético pareció convincente y bien pronto se convirtió en la explicación más aceptada del desarrollo biológico.

Sin embargo, investigaciones posteriores han demostrado que el programa para la activación de los genes no reside en el genoma, sino en la red epigenética de la célula. Han sido ya identificadas diversas estructuras celulares implicadas en la regulación de la expresión de los genes, entre las cuales se incluyen proteínas estructurales, hormonas, redes de enzimas y muchos otros complejos moleculares. Las cromatinas, en particular –gran número de proteínas estrechamente entrelazadas con las cadenas del ADN dentro de los cromosomas–, parecen tener un papel crucial en la medida en que constituyen el entorno más inmediato del genoma.⁴²

Poco a poco va aflorando a la superficie la creciente constatación de que la totalidad de los procesos biológicos que implican a los genes –fidelidad en la replicación de ADN, proporción de mutaciones, transcripción de secuencias de codificación, selección de funciones proteínicas y patrones de expresión de genes– está regulada por la red celular en la que el genoma está inmerso. Esta red es altamente no lineal y contiene múltiples bucles de retroalimentación, de modo que los patrones de actividad genética cambian constantemente en respuesta a las diversas circunstancias.⁴³

El ADN constituye una parte esencial de la red epigenética, pero no es el único agente causal de las formas y funciones biológicas, como pretende el dogma central. La forma y el comportamiento biológicos son propiedades emergentes de la dinámica no lineal de la red, por lo que cabe esperar que nuestra comprensión de esos procesos de emergencia aumente signi-

ficativamente cuando la teoría de la complejidad sea aplicada a la nueva disciplina de la «epigenética». De hecho, este enfoque ya está siendo puesto en práctica por algunos biólogos y matemáticos.⁴⁴

La teoría de la complejidad podría también arrojar nueva luz sobre una intrigante propiedad del desarrollo biológico descubierta hace casi un siglo por el embriólogo alemán Hans Driesch. Con una serie de cuidadosos experimentos realizados con huevos de erizo de mar, Driesch demostró que se podía destruir varias células en las primeras etapas del embrión sin que por ello dejara éste de desarrollarse hasta ser un adulto completo.⁴⁵ De forma parecida, experimentos genéticos más recientes han demostrado que eliminar genes aislados, incluso aquellos que se creía que tenían un papel fundamental, tenía muy poco efecto en el funcionamiento global del organismo.⁴⁶

Las notables estabilidad y robustez del desarrollo biológico implican que un embrión puede partir de distintas etapas iniciales —por ejemplo, cuando genes aislados o células enteras son destruidos accidentalmente— y alcanzar, sin embargo, la forma madura característica de su especie. Evidentemente, este fenómeno es incompatible con el determinismo genético. Cabe preguntarse, pues, como hace Keller: «¿Qué es lo que mantiene al desarrollo en el buen camino?»⁴⁷

Existe un creciente consenso, entre los investigadores en genética, en el sentido de que esa robustez indica una redundancia funcional de itinerarios genéticos y metabólicos. Al parecer, las células mantienen abiertos numerosos caminos, tanto para la producción de estructuras celulares esenciales como para dar apoyo a los procesos metabólicos esenciales.⁴⁸ Esta redundancia garantiza no sólo la notable estabilidad del desarrollo biológico, sino también una flexibilidad y una adaptabilidad muy grandes frente a cambios inesperados en el medio. La redundancia genética y metabólica podría ser considerada, tal vez, el equivalente de la biodiversidad en los ecosistemas. Al parecer, la vida ha desarrollado, a todos los niveles de complejidad, una diversidad y una redundancia muy notables.

La observación de redundancia genética contradice directamente el determinismo genético, en general, y la metáfora del «gen egoísta», propuesta por el biólogo Richard Dawkins, en particular.⁴⁹ Según Dawkins, los genes se comportan como si fueran egoístas al competir constantemente, por medio de los organismos que producen, para dejar más y más copias de sí mismos. Desde esta perspectiva reduccionista, la existencia generalizada de genes redundantes no tendría sentido evolutivo. Desde el punto de vista sistémico, sin embargo, reconocemos que la selección natural no opera sobre genes individuales, sino sobre los patrones de autoorganización del organismo. Como dice Keller: «Es la resistencia del propio ciclo vital la que se ha [...] convertido en la protagonista de la evolución.»⁵⁰

La existencia de múltiples itinerarios constituye, por supuesto, una propiedad fundamental en todas las redes, y podría incluso ser considerada la característica definitoria de la red. Por consiguiente, no debería sorprendernos que la dinámica no lineal (las matemáticas de la teoría de la complejidad), eminentemente adecuada para el análisis de las redes, pueda aportar ideas importantes sobre la naturaleza de la robustez y la estabilidad del desarrollo.

En el lenguaje de la teoría de la complejidad el proceso de desarrollo biológico se percibe como el despliegue continuo de un sistema no lineal a medida que el embrión va formando un dominio extendido de células.⁵¹ Esta «hoja de células» presenta determinadas propiedades dinámicas que dan lugar a una secuencia de deformaciones y repliegues conforme emerge el embrión. El proceso completo puede ser representado matemáticamente como una trayectoria en «espacio fase» que se mueve dentro de una «cuenca de atracción» hacia un «atractor», la cual describe el funcionamiento del organismo en su forma adulta estable.⁵²

La «estabilidad estructural» constituye una propiedad característica de los sistemas no lineales complejos. Una cuenca de atracción puede ser perturbada o deformada sin modificar las características fundamentales del sistema. En el caso del em-

brión en desarrollo, eso significa que las condiciones iniciales del proceso pueden ser alteradas, hasta cierto punto, sin que el desarrollo general se vea perturbado. Por consiguiente, la estabilidad del desarrollo, que parece más bien misteriosa desde el punto de vista del determinismo genético, es reconocida como la consecuencia de una propiedad muy básica de los sistemas no lineales complejos.

¿QUÉ ES UN GEN?

El asombroso progreso realizado por los genetistas en sus esfuerzos por identificar y secuenciar determinados genes, así como por cartografiar genomas completos, ha conllevado la creciente comprobación de que, si aspiramos realmente a comprender los fenómenos genéticos, debemos ir más allá de los genes. Podría incluso llegar a suceder que tuviésemos que abandonar el concepto de gen. Como hemos visto, los genes no son, ni mucho menos, los agentes causales de los fenómenos biológicos, independientes y diferenciados, que postula el determinismo genético. Incluso su propia estructura parece desafiar una definición precisa.

A los genetistas les resulta incluso difícil ponerse de acuerdo sobre cuántos genes contiene el genoma humano, porque la porción de genes que codifican las secuencias de aminoácidos parece menor del dos por ciento, y habida cuenta de que estos genes están fragmentados y separados por largas secuencias no codificadoras, la respuesta a la pregunta de dónde comienza y dónde termina un gen específico no tiene nada de fácil. Antes de completarse el Proyecto Genoma Humano las estimaciones del número total de genes humanos iban desde treinta mil hasta ciento veinte mil. Parece que la cifra inferior se acerca más a la realidad, pero no todos los genetistas están de acuerdo.

Podría ser que, a la postre, todo cuanto podamos decir de los genes es que son segmentos continuos o discontinuos de ADN

cuyas estructuras precisas y funciones específicas son determinadas por la dinámica de la red epigenética que los rodea y pueden cambiar en función de las circunstancias. El genetista William Gelbart va aún más allá al escribir:

A diferencia de los cromosomas, los genes no son objetos físicos, sino meros conceptos que han ido acumulando un gran bagaje histórico a lo largo de las últimas décadas [...] Es probable que hayamos alcanzado un punto en el que la utilización del término «gen» tenga un valor limitado y se convierta incluso en un estorbo para la comprensión del genoma.⁵³

En su extensa revisión del estado actual de la genética, Evelyn Fox Keller llega a una conclusión parecida:

Aunque el mensaje no haya llegado todavía a la prensa popular, a un número creciente de personas que trabajan en la vanguardia de la investigación contemporánea les parece ya evidente que la primacía del gen como concepto explicativo básico de la estructura y la función biológicas es una característica del siglo XX que quizá no lo sea del XXI.⁵⁴

El hecho de que muchos de los investigadores destacados en genética molecular reconozcan ya la necesidad de ir más allá de los genes, y adoptar una perspectiva epigenética más amplia, resulta importante cuando tratamos de evaluar el estado actual de la biotecnología. Veremos que tanto los problemas en la comprensión de la relación entre genes y enfermedad como la utilización de la clonación en investigación médica y las aplicaciones de la biotecnología a la agricultura tienen sus raíces en el estrecho marco conceptual del determinismo genético, y persistirán hasta que los principales defensores de la biotecnología adopten una visión sistémica más amplia.

Cuando fueron desarrolladas las técnicas de secuenciado y corte del ADN, en los años setenta, las nuevas empresas de biotecnología y sus genetistas concentraron sus esfuerzos en las aplicaciones médicas de la ingeniería genética. Puesto que se creía que los genes determinaban funciones biológicas, era lo más natural presuponer que las causas originales de los trastornos biológicos se debieran a mutaciones genéticas, de modo que los genetistas pusieron manos a la obra para tratar de identificar con precisión cuáles eran los genes causantes de enfermedades específicas. Si lo lograban –pensaban–, estarían en condiciones de prevenir y curar esas enfermedades «genéticas» mediante la corrección o la sustitución de los genes defectuosos.

Las empresas de biotecnología vieron en el desarrollo de esas terapias genéticas una tremenda oportunidad de negocio, incluso aunque sus terapéuticas reales estuvieran muy lejos, por lo que comenzaron a promocionar vigorosamente sus investigaciones genéticas a través de los medios de comunicación. Año tras año espectaculares titulares en periódicos y artículos en revistas informaban del descubrimiento de nuevos genes «causantes de enfermedades» y sus correspondientes nuevas terapias, a lo que solían seguir serias advertencias científicas publicadas varias semanas después, como noticias menores dispersas en la masa de la información general.

Los genetistas descubrieron bien pronto que media una gran distancia entre la capacidad para identificar genes que intervienen en el desarrollo de enfermedades y la comprensión de su papel concreto, por no hablar de su manipulación con el objetivo de lograr el resultado terapéutico deseado. Como ya sabemos, esta distancia es consecuencia directa de la falta de concordancia entre las cadenas causales lineales del determinismo genético y las redes epigenéticas no lineales de la realidad biológica.

El evocador término «ingeniería genética» revela que, en general, el público cree que la manipulación de genes constituye un procedimiento mecánico exacto y bien comprendido. De

hecho, es así como se presenta habitualmente en los medios de comunicación. En palabras del biólogo Craig Holdrege:

Nos hablan de genes que son *cortados* o *pegados* por enzimas, de nuevas combinaciones de ADN que son *manufacturadas* e *insertadas* en la célula. Ésta incorpora el ADN a su propia *maquinaria*, que comienza a *leer la información codificada* en el nuevo ADN. Esta información es entonces *expresada* en la *manufactura* de las correspondientes proteínas que tienen una función determinada en el organismo. Y así, como resultado de todos esos procedimientos precisamente determinados, el organismo transgénico incorpora nuevas características.⁵⁵

La realidad de la ingeniería genética es mucho más chapucera. En el estado actual en que se encuentra esa técnica los genetistas no están en condiciones de controlar lo que sucede en el organismo. Es cierto que pueden insertar un gen en el núcleo de la célula con la ayuda de un vector específico, pero no tienen forma de saber si la célula lo incorporará o no a su propio ADN, ni dónde quedará ubicado ese nuevo gen, ni qué efectos tendrá sobre el organismo. Por consiguiente, la ingeniería genética sigue un procedimiento empírico de un modo absolutamente dilapidador. El porcentaje de éxitos en los experimentos genéticos ronda el diez por ciento, porque el trasfondo viviente del organismo anfitrión, que determina el resultado del experimento, permanece en gran medida inaccesible a la mentalidad ingenieril que subyace en las técnicas biotecnológicas actuales.⁵⁶

«La ingeniería genética», explica el biólogo David Ehrenfeld, «se basa en la premisa de que podemos extraerle un gen a la especie A, en la que hace algo deseable, y añadirsele a la especie B, donde continuará haciendo esa misma cosa deseable. La mayoría de los ingenieros genéticos saben que eso no siempre es cierto, pero la industria biotécnica, en conjunto, actúa como si lo fuera.»⁵⁷ Ehrenfeld subraya que esa premisa choca con tres problemas principales.

En primer lugar, la expresión de los genes depende de su entorno genético y celular (de la red epigenética como un todo), y puede cambiar cuando los genes son introducidos en un nuevo entorno. «Una y otra vez», escribe el biólogo molecular Richard Strohman, «nos encontramos con que genes asociados con determinada enfermedad en los ratones de laboratorio no presentan esa misma asociación en los humanos [...] Parece, por consiguiente, que incluso en genes clave, la mutación tendrá o no efecto según el escenario genético en el que se encuentre.»⁵⁸

En segundo lugar, los genes tienen habitualmente múltiples efectos, por lo que efectos indeseables suprimidos en una especie pueden perfectamente expresarse cuando ese gen es transferido a otra. Por último, muchos rasgos implican la intervención de múltiples genes, tal vez incluso de cromosomas distintos, que muestran gran resistencia a ser manipulados. Tomados en conjunto, esos problemas constituyen la razón de que las aplicaciones médicas de la ingeniería genética no hayan arrojado hasta ahora los resultados esperados. Como resume David Weatherall, director del Instituto de Medicina Molecular de la Universidad de Oxford: «Habida cuenta de la cantidad de complejos mecanismos reguladores implicados, transferir genes a un nuevo entorno y conseguir que hagan su trabajo ha demostrado ser, hasta ahora, una tarea demasiado difícil para los genetistas moleculares.»⁵⁹

Inicialmente, los genetistas esperaban poder asociar enfermedades específicas a genes individuales, pero luego resultó que los trastornos atribuibles a un solo gen son tan escasos que no llegan ni al dos por ciento de las enfermedades humanas. Incluso en los casos claros —anemia drepanocítica, o «de las células falciformes», distrofia muscular o fibrosis quística—, en los que una mutación provoca una disfunción en una proteína de importancia crucial, los vínculos entre el gen defectuoso y la manifestación de la enfermedad y su curso son aún poco conocidos. El desarrollo de la anemia drepanocítica, por ejemplo, común en la raza negra, puede ser espectacularmente distinto entre individuos portadores del mismo gen defectuoso y sus re-

sultados variar de la muerte en la primera infancia a una afección casi imperceptible en la madurez.⁶⁰

Otro problema consiste en que, en las enfermedades atribuibles a un solo gen, los genes defectuosos suelen ser desmesuradamente grandes. El gen crítico para la fibrosis quística, enfermedad común en el Norte de Europa, está formado por unos doscientos treinta mil pares de bases y codifica una proteína compuesta por casi mil quinientos aminoácidos. Han sido observadas más de cuatrocientas mutaciones distintas de ese gen. Sólo una de ellas tiene como consecuencia la enfermedad. Mutaciones idénticas pueden producir síntomas distintos en pacientes diferentes. Todo ello hace que identificar al «responsable de la fibrosis quística» resulte enormemente problemático.⁶¹

Los problemas encontrados en los escasos trastornos atribuibles a un solo gen se multiplican cuando los genetistas estudian dolencias comunes, como el cáncer y las enfermedades cardíacas, que involucran redes de múltiples genes. Como observa Evelyn Fox Keller, en esos casos:

las limitaciones de la comprensión actual son mucho más evidentes. El efecto neto es que, si bien nos hemos vuelto muy eficientes para identificar riesgos genéticos, la posibilidad de unos beneficios médicos significativos, que tan sólo una década atrás se esperaba que siguieran rápidamente a las nuevas técnicas de diagnóstico, parece cada vez más lejana.⁶²

No es probable que esta situación cambie, a menos que los genetistas comiencen a buscar más allá de los genes y centren su atención en la compleja organización de la célula como un todo. Como explica Richard Strohman:

En el caso de la arteria coronaria [por ejemplo] hay identificados más de un centenar de genes con alguna contribución interactiva. Con redes de cien genes y sus productos interactuando con entornos sutiles que afectan [a funciones biológicas] sería muy ingenuo pensar que la teoría de redes no

lineal, de la clase que sea, puede ser omitida del análisis diagnóstico.⁶³

Mientras tanto, sin embargo, para justificar sus investigaciones las empresas de biotecnología continúan promocionando el dogma desfasado del determinismo genético. Como señala Mae-Wan Ho, su empeño por identificar predisposiciones genéticas para enfermedades como el cáncer, la diabetes o la esquizofrenia –y, peor aún, para trastornos como el alcoholismo o las tendencias delictivas– estigmatiza a individuos y desvía la atención del papel crucial de los factores sociales y ambientales que inciden sobre estos padecimientos.⁶⁴

Por supuesto, el interés prioritario de las empresas de biotecnología no radica en la salud humana ni en el progreso de la medicina, sino en los beneficios económicos. Uno de los medios más eficaces para garantizar que el valor de las acciones de esas empresas se mantenga alto, a pesar de la ausencia de resultados médicos palpables, consiste en perpetuar en el público la percepción de que los genes determinan el comportamiento.

LA BIOLOGÍA Y LA ÉTICA DE LA CLONACIÓN

El determinismo genético ha condicionado también de forma decisiva el debate público sobre la clonación, tras los espectaculares éxitos recientes en la producción de nuevos organismos mediante manipulación genética, como alternativa a la reproducción sexual. Como veremos más adelante, el procedimiento utilizado en esos casos difiere de la clonación en el sentido estricto del término, pero en los medios de comunicación se lo describe comúnmente como «clonación».⁶⁵

Cuando se hizo público, en 1997, que el embriólogo Ian Wilmut y sus compañeros del Instituto Roslin de Edimburgo habían «clonado» una oveja por este procedimiento, la noticia no sólo provocó el inmediato aplauso de la comunidad científica, sino que suscitó también numerosos debates públicos e in-

tensas ansiedades. ¿Estaba la clonación humana a la vuelta de la esquina?, se preguntaba la gente. ¿Había alguna pauta ética? Y, ante todo, ¿por qué se había permitido aquel experimento oculto a la luz pública?

Como señala el biólogo evolucionista Richard Lewontin en una reflexiva revisión de la ciencia y la ética de la clonación, toda esa controversia debe ser comprendida, una vez más, en el contexto del determinismo genético.⁶⁶ Puesto que el público, en general, no está al corriente de la falacia fundamental de la doctrina de que los genes «forman» al organismo, tiende de forma natural a creer que genes idénticos forman personas idénticas. En otras palabras, la mayoría de la gente confunde el estado genético de un organismo con la totalidad de las características biológicas, psicológicas y culturales de un ser humano. En el desarrollo de un individuo intervienen muchas más cosas que los genes, tanto en la emergencia de la forma biológica como en la formación de una personalidad humana irrepetible a partir de determinadas experiencias vitales. Por todo ello la idea de «clonar a Einstein» es absurda.

Como veremos más adelante, los mellizos iguales son genéticamente mucho más idénticos que un organismo clonado con su original, y, sin embargo, suelen tener personalidades e historias personales muy distintas, a pesar de los esfuerzos de muchos progenitores para reforzar su parecido vistiéndolos igual, dándoles la misma educación, etcétera. Cualquier temor de que la clonación pudiera violar la identidad exclusiva de un individuo carece de fundamento. En palabras de Lewontin: «La cuestión [...] no consiste en si la identidad genética *per se* destruye o no la individualidad, sino en si el estado erróneo de la comprensión pública de la biología minará o no el sentido propio de autonomía y unicidad de un individuo.»⁶⁷ No obstante, creo necesario advertir que la clonación de seres humanos sería también moralmente reprensible e inaceptable por otras razones, que abordaré en su momento.

El determinismo genético apoya también la visión de que podría haber razones justificables para clonar seres humanos en

ciertos casos, por ejemplo, en el de una mujer cuyo marido está en coma tras un accidente y quiere desesperadamente tener un hijo suyo, o en el de un hombre estéril cuya familia ha perecido por completo y desea que su linaje biológico no se extinga. Bajo todas esas suposiciones subyace siempre la presuposición errónea de que preservar la identidad genética de una persona equivale, de algún modo, a mantener su esencia. Resulta interesante señalar, como apunta Lewontin, que esa creencia constituye una prolongación de la antigua asociación de la sangre humana con las características de clase social o personalidad individual. A lo largo de los siglos esa asociación errónea ha generado una plétora de problemas morales espurios y ha dado pie a un sinnúmero de tragedias.

Las cuestiones éticas reales relativas a la clonación resultan claras a la luz de la comprensión de las manipulaciones genéticas involucradas en las prácticas actuales, así como de las motivaciones que las inspiran. Cuando los biólogos tratan hoy de «clonar» un animal, toman un óvulo adulto de un animal, le extraen el núcleo y funden la célula resultante con el núcleo (o con una célula completa) de otro animal. La célula «híbrida» resultante, el equivalente de un óvulo fertilizado, es entonces desarrollada *in vitro* y, tras asegurarse de que se está desarrollando «normalmente», es implantada en la matriz de un tercer animal, que hace las veces de madre y lleva el embrión a término.⁶⁸ El logro científico de Wilmut y sus colegas consistió en demostrar que el obstáculo de la especialización celular puede ser superado. Las células adultas de un animal son células especializadas que al reproducirse darán, en condiciones normales, células con la misma especialización. Los biólogos habían aceptado esa especialización como irreversible. Los científicos del Instituto Roslin demostraron que es posible superarla mediante las interacciones entre el genoma y la red celular.

A diferencia de los mellizos idénticos, el animal «clonado» no es completamente idéntico, genéticamente hablando, al donante de sus genes, puesto que la célula manipulada de la que partió no está compuesta únicamente por el núcleo del animal

donante, que proporcionó el grueso del genoma, sino también por la célula sin núcleo del otro donante, que contenía genes adicionales fuera del núcleo.⁶⁹

Los verdaderos problemas éticos en torno a la clonación actual tienen sus raíces en los problemas biológicos de desarrollo que suscitan, y son consecuencia del hecho crucial de que la célula manipulada a partir de la que se desarrollará el embrión es un híbrido formado con componentes celulares procedentes de dos animales distintos. Su núcleo procede de un organismo, mientras que el resto de la célula, que contiene toda la red epigenética, procede de otro. Habida cuenta de la inmensa complejidad de la red epigenética y de sus interacciones con el genoma, los dos componentes serán raramente compatibles, y, hoy por hoy, nuestro conocimiento de las funciones reguladoras celulares y de los procesos de señalización es aún tan limitado que no nos permite conseguir que lo sean. Así pues, el procedimiento de clonación practicado en la actualidad se basa mucho más en la prueba y el error que en la comprensión de los procesos biológicos inmanentes. En el experimento del Instituto Roslin fueron creados 277 embriones, de los que tan sólo sobrevivió una oveja «clonada», tasa de éxito que ronda el 0,33 por ciento.*

Dejando aparte la cuestión de si es aceptable o no destruir tantos embriones en nombre de la ciencia, es también necesario considerar la naturaleza de las criaturas no viables generadas de ese modo. En la reproducción natural las células del embrión en desarrollo se dividen de tal modo que los procesos de división celular y replicación de cromosomas (y ADN) son sincrónicos. Esta sincronía es parte de la regulación celular de la actividad genética.

En el caso de la «clonación», por el contrario, puede suceder fácilmente que la división de los cromosomas no sea sincrónica

* Posteriormente, la oveja Dolly, a la que se refiere el autor, presentó graves problemas de debilidad orgánica, entre ellos envejecimiento prematuro, y murió. (N. del T.)

con la de las células embrionarias, debido a incompatibilidades entre los dos componentes de la célula inicialmente manipulada,⁷⁰ lo cual tendrá como resultado un exceso o un defecto de cromosomas, de modo que el embrión resultante será anormal. Puede morir o, lo que es peor, desarrollarse de forma monstruosa. Utilizar animales de ese modo suscitara dudas éticas aun en el caso de que la investigación estuviera únicamente motivada por el deseo de incrementar el conocimiento médico y ayudar a la humanidad. En la situación presente esas dudas son aún más perentorias, si cabe, porque la velocidad y la dirección de la investigación están mayormente determinadas por intereses comerciales.

La industria de la biotecnología está llevando a cabo numerosos proyectos en los que se utilizan técnicas de clonación en busca de beneficios económicos potenciales, aun a costa de riesgos para la salud elevados y de beneficios sanitarios cuestionables. Una de esas líneas de investigación consiste en producir embriones animales cuyas células y tejidos podrían resultar útiles para propósitos terapéuticos humanos. Otra consiste en insertar genes humanos mutados en animales, para el estudio de enfermedades humanas. Por ejemplo, se han diseñado ratones para que desarrollen cáncer, y los animales transgénicos enfermos resultantes han sido patentados.⁷¹ No resulta sorprendente que la mayoría de la gente sienta cierta repulsión ante semejantes aventuras comerciales.

Otro de los grandes proyectos en biotecnología consiste en modificar genéticamente animales de granja para que su leche contenga fármacos útiles. Como en los proyectos de investigación antes mencionados, esos esfuerzos requieren la manipulación y el desecho de numerosos embriones antes de que sean producidos unos pocos animales transgénicos, los cuales a menudo están muy enfermos. Por si fuera poco, hay que considerar también la salubridad de sus productos para el consumo humano, como en el caso de la leche transgénica. Puesto que la ingeniería genética implica siempre el uso de vectores infecciosos para la transmisión de genes, los riesgos potenciales de la leche transgénica rebasan con creces cualquier supuesto beneficio.⁷²

Los problemas éticos de los experimentos de clonación con animales se verían enormemente magnificados si se llegaran a plantear con humanos. ¿Cuántos embriones humanos estaríamos dispuestos a sacrificar? ¿Cuántos monstruos crearíamos en esa investigación fáustica? Resulta evidente que cualquier intento de clonar a humanos, en el estado actual de nuestros conocimientos, sería totalmente inmoral e inaceptable. De hecho, incluso en el caso de experimentos de clonación con animales, es el deber moral de la comunidad científica establecer criterios éticos estrictos y abrir sus investigaciones al escrutinio público.

BIOTECNOLOGÍA Y AGRICULTURA

Las aplicaciones de la ingeniería genética a la agricultura han suscitado entre el público, en general, una resistencia mucho mayor que las relacionadas con la medicina. Existen varios motivos para esa resistencia, que, en los últimos años, se ha convertido en un movimiento político global. En todo el mundo la mayoría de la gente tiene una relación existencial muy básica con los alimentos, por lo que es natural que se preocupe si creen que los que consume han sido químicamente contaminados o genéticamente manipulados. Incluso aunque no comprenda las complejidades de la ingeniería genética sus sospechas se disparan cuando se entera de que corporaciones poderosas preparan nuevas tecnologías alimentarias en secreto y que tratan de vender esos productos sin ninguna advertencia sanitaria, sin un etiquetado claro y sin debate previo alguno. En los últimos años se ha hecho evidente el creciente abismo entre la publicidad de la industria de la biotecnología y las realidades de la alimentación biotecnológica.

Los anuncios de biotecnología nos muestran un «mundo feliz» en el que la naturaleza será por fin sometida al control humano. Sus plantas se convertirán en artículos genéticamente diseñados, hechos a medida de las necesidades del usuario. Las nuevas variedades serán resistentes a la sequía, los insectos y las

malas hierbas. Los frutos no se macarán ni se pudrirán. La agricultura no dependerá ya de la química y, por ende, respetará el medio ambiente. Los alimentos serán mejores y más seguros que nunca y el hambre desaparecerá por fin de la faz de la Tierra.

Al leer o escuchar esas proyecciones de futuro, tan optimistas y, a la vez, tan ingenuas, ambientalistas y defensores de la justicia social experimentan una fuerte sensación de *déjà vu*. Somos muchos quienes recordamos perfectamente que las mismas corporaciones agroquímicas utilizaban un lenguaje muy parecido cuando promovían su modelo de agricultura química, pregonado como la «Revolución Verde», hace unas décadas.⁷³ Desde entonces el lado oscuro de la agricultura química se ha hecho cada vez más dolorosamente evidente.

Es bien sabido hoy día que la agricultura química no ha ayudado ni a los agricultores ni a la tierra ni a los consumidores. El uso masivo de productos químicos (fertilizantes, pesticidas, herbicidas) cambió la estructura de la agricultura y la ganadería, en la medida en que la industria agroquímica persuadió a los agricultores de que podían ganar mucho más dinero si se dedicaban a un solo cultivo altamente rentable y controlaban las plagas y la maleza con sus productos. Esta práctica de monocultivo no tan sólo implicaba un elevado riesgo de destrucción masiva de un cultivo por una única plaga, sino que su uso intensivo de productos químicos afectaba seriamente a la salud de los propios agricultores y de quienes vivían en las zonas agrícolas.

Con los nuevos productos agroquímicos la agricultura se mecanizaba y consumía cada vez más energía, lo que favorecía a los terratenientes con capital suficiente y obligaba a muchos campesinos a malvender sus explotaciones familiares y emigrar. Víctimas de la Revolución Verde, en el mundo entero gran número de personas han abandonado las zonas rurales y han ido a engrosar las masas de desempleados urbanos.

Los efectos a largo plazo de la agricultura química han sido desastrosos para la salud del suelo y de los humanos, para nuestras relaciones sociales y para el medio natural del que dependen nuestro bienestar y nuestro futuro. A medida que, año tras año,

las mismas cosechas eran plantadas y químicamente tratadas en el mismo terreno, el equilibrio de los procesos ecológicos del suelo quedaba trastocado, su nivel de materia orgánica disminuía y, en consecuencia, menguaba su capacidad de retener humedad. Los cambios resultantes en la textura del suelo tenían, a su vez, una serie de consecuencias perjudiciales: pérdida de humus, sequedad y esterilidad, erosión por viento y agua, etcétera.

El desequilibrio ecológico provocado por el monocultivo y el uso excesivo de agroquímicos tuvo también como resultado un aumento tremendo de plagas y enfermedades, que los agricultores trataban de contrarrestar con dosis más elevadas de pesticidas, en un círculo vicioso de agotamiento y destrucción. A medida que aumentaban las dosis químicas en cosechas y suelo lo hacían también los riesgos para la salud humana con la absorción por el suelo de productos químicos tóxicos y la consiguiente contaminación de acuíferos y alimentos.*

Lamentablemente, no parece que la industria agroquímica haya aprendido las lecciones de la Revolución Verde. Según el biólogo David Ehrenfeld:

Al igual que ocurre con la agricultura intensiva, se trata a menudo de presentar a la ingeniería genética como una tecnología humana, dedicada a alimentar a la gente más y mejor. Nada más lejos de la realidad. Con escasísimas excepciones, el único objetivo de la ingeniería genética consiste en aumentar las ventas de productos químicos y transgénicos a unos agricultores cada vez más dependientes.⁷⁴

La cruda verdad es que la mayoría de las innovaciones en biotecnología alimentaria no han sido motivadas por la necesidad, sino por el beneficio. Por ejemplo, Monsanto diseñó un ti-

* Ver a este respecto dos obras fundamentales: *Una primavera silenciosa* (Luis de Caralt, Barcelona, 1964), de Rachel Carson (1962), y *Nuestro futuro robado* (Ecoespaña, Madrid, 1997), de Theo Colborn, John Peterson Meyers y Dianne Dumanoski (1997). (N. del T.)

po de soja genéticamente modificada (GM) para resistir dosis tres veces más altas del herbicida Roundup, que ella misma fabrica, a fin de aumentar las ventas de este producto. Monsanto también ha diseñado semillas de algodón con un gen insecticida incorporado, para aumentar sus ventas. Estas tecnologías incrementan la dependencia de los agricultores de productos patentados y protegidos por «derechos sobre la propiedad intelectual», que convierten en ilegales prácticas agrícolas tradicionales como reproducir, guardar y compartir semillas. Es más, las corporaciones biotecnológicas añaden «derechos tecnológicos» al precio de las semillas y obligan a los agricultores a pagar precios inflados por paquetes completos de semillas y herbicidas.⁷⁵

A través de una serie de fusiones masivas, y gracias al estrecho control permitido por las tecnologías genéticas, se está produciendo una concentración de propiedad y control sobre la producción de alimentos sin precedentes.⁷⁶ Las diez empresas agroquímicas más grandes controlan ya el ochenta y cinco por ciento del mercado global, mientras que las cinco primeras controlan la práctica totalidad del mercado de las semillas GM. Monsanto ha comprado las principales empresas semilleras de la India y el Brasil, además de adquirir numerosas empresas de biotecnología, mientras que Du Pont compró Pioneer Hi-Bred, la mayor empresa de semillas del mundo. El objetivo de estas gigantes corporaciones consiste en crear un sistema agrícola mundial único, en el que puedan controlar cada etapa de la producción alimentaria —desde la semilla hasta el producto final—, a fin de monopolizar los suministros de alimentos y establecer, por lo tanto, su precio. En palabras de un ejecutivo de Monsanto: «Lo que están viendo es la fusión en una sola empresa de la totalidad de la cadena alimentaria.»⁷⁷

Las principales corporaciones agroquímicas planean introducir versiones de la «tecnología terminator», consistente en el diseño de plantas con semillas genéticamente esterilizadas, que obligan al agricultor a comprar semillas patentadas año tras año al dar al traste con la posibilidad de que planten las suyas. Eso resultaría particularmente devastador en el hemisferio sur, donde el ochenta

por ciento de las cosechas proceden de semillas guardadas de recolecciones anteriores. Por encima de todo, esos planes ponen en evidencia las motivaciones estrictamente comerciales que se ocultan tras los alimentos GM. Tal vez muchos de los científicos que trabajan para esas corporaciones crean sinceramente que sus investigaciones van a contribuir a alimentar a los hambrientos y a mejorar la calidad de nuestros alimentos, pero lo cierto es que están operando dentro de una cultura de poder y control, sin capacidad para escuchar y con una estrecha visión reduccionista, en la que las cuestiones éticas no se tienen en cuenta.

Los defensores de la biotecnología han argumentado repetidamente que las semillas GM son cruciales para alimentar al mundo utilizando los mismos argumentos tendenciosos que empleaban sus precursores de la Revolución Verde. La producción convencional de alimentos —aseguran— no va a poder seguir el ritmo del aumento de la población mundial. En 1998 los anuncios de Monsanto proclamaban: «Preocuparse por el hambre de las generaciones futuras no les va a dar de comer. La biotecnología alimentaria sí.»⁷⁸ Como señalan los agroecólogos Miguel Altieri y Peter Rosset, este argumento se basa en dos premisas erróneas.⁷⁹ La primera es que el hambre en el mundo se debe a la escasez de alimentos. La segunda es que la ingeniería genética constituye el único modo posible de incrementar la producción alimentaria.

Las agencias para el desarrollo saben desde hace mucho que no existe una relación directa entre el hambre y la densidad de población de un país o su crecimiento. Hay hambre generalizada en países densamente poblados, como Bangladesh o Haití, pero también la hay en países con densidades de población muy bajas, como el Brasil e Indonesia. Incluso en los mismísimos Estados Unidos, paradigma de la sobreabundancia, hay entre veinte y treinta millones de personas mal nutridas.

En su estudio, ya clásico, *World Hunger: Twelve Myths*, del que se ha publicado recientemente una reedición actualizada, la especialista en desarrollo Frances Moore Lappé y sus colegas del Instituto para los Alimentos y el Desarrollo aportaron datos

pormenorizados de la producción de alimentos que asombraron a muchos lectores⁸⁰ al demostrar que la característica que mejor describe la producción actual de alimentos no es la escasez, sino la abundancia.* En las tres últimas décadas la producción de alimentos ha rebasado el crecimiento de la población mundial en un dieciséis por ciento. Durante esos años montañas de excedentes de cereales forzaban a la baja los precios en los mercados mundiales. En los cincuenta últimos años los incrementos en los suministros alimentarios se han mantenido por delante del aumento de la población en todo el mundo, excepto África. En 1997 un estudio demostró que, en el mundo desarrollado, el setenta y ocho por ciento de los niños mal nutridos de cinco años de edad o menos viven en países con excedentes de alimentos. Muchos de los países en los que reina el hambre exportan más alimentos de los que importan.

Esas estadísticas demuestran con claridad que el argumento de que la biotecnología es necesaria para erradicar el hambre es muy poco imaginativo. Las causas del hambre en el mundo no tienen nada que ver con la producción de alimentos, sino con la pobreza, con las desigualdades y con la falta de acceso a los alimentos y a la tierra.⁸¹ La gente pasa hambre porque los medios de producción y distribución de alimentos están controlados por los ricos y los poderosos: el problema del hambre en el mundo no es técnico, sino político. Cuando los ejecutivos del agronegocio aseguran que el hambre va a persistir hasta que sean aplicadas sus biotecnologías más novedosas, Miguel Altieri señala que ignoran las realidades sociales y políticas. «Si no se tratan las causas fundamentales», les responde, «el hambre persistirá, sean cuales fueren las tecnologías empleadas.»⁸²

Por supuesto, la biotecnología podría tener un lugar en la agricultura del futuro, a condición de ser usada juiciosamente en conjunción con medidas sociales y políticas, y si pudiera contri-

* Para un resumen de este trabajo en español, ver «Mitos y mentiras sobre el hambre en el mundo» en *Boletín de la Asociación Vida Sana*, n.º 3, 1999, págs. 4-5. (N. del T.)

buir a conseguir mejores alimentos sin ningún efecto colateral dañino. Lamentablemente, las tecnologías genéticas desarrolladas y comercializadas en la actualidad no cumplen, en absoluto, ninguna de esas condiciones.

Pruebas experimentales recientes han demostrado que las semillas GM no mejoran significativamente el rendimiento de las cosechas.⁸³ Es más, existen fuertes indicaciones de que la aplicación masiva de cultivos transgénicos no sólo no conseguiría resolver el problema del hambre, sino que, antes al contrario, podría perpetuarlo e incluso agravarlo. Si las semillas transgénicas continúan siendo desarrolladas y promovidas exclusivamente por empresas privadas, los agricultores pobres no podrán costearlas. Si la industria de la biotecnología sigue protegiendo sus productos con patentes que impidan que el agricultor guarde semillas de su propia cosecha para la siguiente siembra o para intercambiar, los pobres serán cada vez más dependientes y estarán más marginados. Según un informe reciente de la organización Christian Aid. «Las plantaciones GM están creando las precondiciones clásicas para la miseria y el hambre. La concentración en muy pocas manos de la propiedad de los recursos básicos —inherente a una agricultura basada en productos patentados—, y unas fuentes de suministros que dependen sólo de unas pocas variedades de cultivo, constituyen las peores opciones posibles para la seguridad alimentaria.»⁸⁴

UNA ALTERNATIVA ECOLÓGICA

Si las tecnologías química y transgénica no van a aliviar el hambre en el mundo, sino que van a continuar arruinando el suelo, perpetuando la injusticia social y poniendo en peligro el equilibrio ecológico de nuestro medio natural, ¿dónde hay que buscar la solución a esos problemas? Por fortuna, existe una solución bien documentada y ampliamente demostrada, una solución a la vez antigua y nueva que está penetrando lentamente en el mundo agrícola como una queda revolución.

Se trata de una alternativa ecológica, conocida como «agricultura orgánica», «agricultura ecológica», «agricultura sostenible» o «agroecología»,⁸⁵ y consiste en el cultivo mediante tecnologías que, para el incremento de las cosechas, el control de las plagas y el mantenimiento del suelo, no se basan en la química o la biotecnología, sino en el conocimiento ecológico.

Los agricultores ecológicos practican la alternancia de cultivos, es decir, los rotan de modo que los insectos atraídos por una planta desaparezcan con la siguiente. Saben que es imprudente tratar de eliminar por completo una plaga, porque eso eliminaría también a los predadores naturales que mantienen su control en un ecosistema sano. En lugar de emplear fertilizantes químicos, esos agricultores enriquecen sus campos con una mezcla de estiércol y residuos orgánicos; de este modo le devuelven al suelo la materia orgánica, para que ésta entre de nuevo en el ciclo biológico.

La agroecología es sostenible porque incorpora principios ecológicos verificados por la evolución durante miles de millones de años.⁸⁶ Los agricultores orgánicos saben que un suelo fértil es un suelo vivo, que contiene miles de millones de organismos en cada centímetro cúbico. Saben que se trata de un ecosistema complejo, en el que las sustancias esenciales para la vida circulan en ciclos desde las plantas y los animales a sus excrementos, a las bacterias del suelo y de nuevo a las plantas. La energía solar es el combustible natural que alimenta esos ciclos ecológicos, en los que son necesarios organismos vivos de todos los tamaños para sostener el sistema y mantenerlo en equilibrio. Las bacterias del suelo realizan diversas transformaciones químicas, como los procesos de fijación de nitrógeno que hacen que el nitrógeno atmosférico sea accesible a las plantas. Las raíces profundas transportan minerales a la superficie del suelo, donde las plantas pueden usarlos. Las lombrices roturan el suelo, lo esponjan y lo fertilizan. Todas esas actividades son interdependientes y se combinan para proporcionar el alimento que sostiene la vida sobre la Tierra.

La agroecología preserva y sostiene los grandes ciclos ecológicos al integrar sus procesos biológicos en los de producción de ali-

mentos. Cuando un suelo se cultiva orgánicamente, su contenido en carbono aumenta; de este modo la agroecología contribuye a la absorción de dióxido de carbono atmosférico y, por consiguiente, a la reducción del cambio climático. El físico Amory Lovins estima que incrementar en un grado razonable la absorción de CO₂ por los suelos deteriorados del mundo absorbería tanto carbono como el que genera toda la actividad humana.⁸⁷

Las explotaciones agroecológicas crían animales para apoyar a los ecosistemas de suelo y superficie. La empresa utiliza mano de obra intensiva y está orientada a la comunidad. Las fincas tienden a ser pequeñas y explotadas por sus propietarios. Más que a través de supermercados, sus productos son vendidos directamente en mercados de los propios productores, lo cual acorta las distancias entre «campo y mesa», ahorra energías no renovables, empaquetado y conservación –con todas sus consecuencias medioambientales–, y garantizan la frescura de los alimentos.⁸⁸

El renacimiento actual de la agroecología constituye un fenómeno planetario. Agricultores de ciento treinta países producen hoy día alimentos orgánicos para su comercialización. Se estima que la superficie total de cultivos ecológicos asciende ya a siete millones de hectáreas, mientras que el mercado de alimentos orgánicos ha crecido hasta alcanzar los veintidós mil millones de dólares al año.⁸⁹

Científicos participantes en una reciente conferencia internacional sobre agricultura sostenible, celebrada en Bellagio (Italia), informaron de que una serie de proyectos experimentales a gran escala, desarrollados en todo el mundo para poner a prueba técnicas agroecológicas –rotación de cultivos, cultivos mixtos, utilización de estiércol y de compost, terrazas, cultivos hidropónicos, etcétera–, habían arrojado resultados espectaculares,⁹⁰ muchos de ellos en zonas previamente agotadas y abandonadas por su incapacidad para el cultivo. Esos proyectos incluían, por ejemplo, más de setecientas mil explotaciones familiares en África, en las que se consiguieron aumentos del cincuenta al ciento por ciento, al mismo tiempo que se rebajaban sustancialmente los costes de producción, todo lo cual se tradujo en un aumento espectacular

de las rentas familiares, que en ocasiones llegaron a multiplicarse por diez. Una y otra vez quedó demostrado que la agroecología no tan sólo incrementaba la producción y proporcionaba un abanico de beneficios ecológicos, sino también que prestigiaba a los agricultores. Como resumió un campesino de Zambia: «La agroecología ha restaurado mi dignidad. Mi familia ya no pasa hambre. Ahora incluso puedo ayudar a mis vecinos.»⁹¹

En el sur del Brasil el cultivo de plantas que protegen el suelo de la erosión, a fin de aumentar su actividad y retener el agua, hizo posible que cuatrocientos mil agricultores incrementaran la producción de maíz y soja de sus campos en más de un sesenta por ciento. En la región andina los rendimientos de diversas variedades de cultivo se multiplicaron por veinte o más. En Bangladesh un programa integrado de cultivo de arroz y cría de peces incrementó la cosecha de arroz en un ocho por ciento y la renta de los agricultores en un cincuenta por ciento. En Sri Lanka el tratamiento integrado de plagas y cultivos incrementó entre un once y un cuarenta y cuatro por ciento el rendimiento de las plantaciones de arroz, y las rentas aumentaron entre un treinta y ocho y un ciento setenta y ocho por ciento.

El Informe Bellagio subraya que las prácticas innovadoras que documenta implicaron a comunidades enteras y se basaron en los conocimientos locales existentes, combinados con avances científicos. Como consecuencia de esas experiencias «los nuevos métodos se extendieron rápidamente entre los agricultores, lo cual demuestra el potencial de diseminación del mundo agrícola, incluso en el caso de técnicas complejas, cuando los protagonistas están interesados en comprenderlas y adaptarlas, en lugar de ser simplemente adiestrados a aplicarlas».⁹²

LOS RIESGOS DE LA BIOTECNOLOGÍA PARA LA AGRICULTURA

Existe evidencia abundante de que la agroecología constituye una sólida alternativa ecológica a las tecnologías química y genética de la agricultura industrializada. Como concluye Mi-

guel Altieri, la agricultura orgánica «eleva la productividad agrícola de formas económicamente viables, medioambientalmente benignas y socialmente dignificantes».⁹³ Por desgracia, nada de eso puede decirse de las aplicaciones actuales de la ingeniería genética a la agricultura.

Los riesgos de esas aplicaciones son consecuencia directa de nuestra pobre comprensión de la función de los genes. Hace muy poco que hemos comenzado a darnos cuenta de que todos los procesos biológicos que implican a genes están regulados por las redes celulares en las que se hallan inmersos los genomas, así como de que los patrones de la actividad genética cambian continuamente en respuesta a los cambios en el entorno celular. Los biólogos comienzan tan sólo a desplazar su atención de las estructuras genéticas a las redes metabólicas, por lo que todavía saben muy poco de la compleja dinámica de éstas.

Sabemos también que las plantas forman parte de ecosistemas complejos, tanto por encima como por debajo de la superficie del suelo, donde la materia –tanto orgánica como inorgánica– se mueve en ciclos continuos. De nuevo, sabemos muy poco de esas redes y de esos ciclos ecológicos, en parte porque muchas décadas de determinismo genético dominante han resultado en una grave distorsión de la investigación biológica, con la mayor parte de los recursos económicos dedicados a la biología molecular y muy pocos a la ecología.

Puesto que las células y las redes reguladoras de las plantas son relativamente más sencillas que las de los animales, les resulta mucho más fácil a los genetistas insertar genes extraños a las primeras que a los segundos. El problema estriba en que, una vez el gen ajeno está inserto en el ADN de la planta y la variedad transgénica resultante ha sido plantada, pasa a formar parte del ecosistema. Los científicos que trabajan para las corporaciones biotecnológicas saben muy poco de los procesos biológicos subsiguientes, y aún menos de las consecuencias ecológicas de sus acciones.

El uso más extendido de biotecnología vegetal ha tenido como objetivo desarrollar variedades resistentes a herbicidas,

para disparar así las ventas de determinados compuestos químicos comerciales. Existen muchas probabilidades de que las plantas transgénicas contaminen por polinización cruzada a variedades silvestres próximas a ellas y den así lugar a «súper malas hierbas» resistentes a herbicidas. La evidencia disponible indica que ese flujo de genes entre variedades transgénicas y silvestres ya ha ocurrido.⁹⁴ Otro problema serio consiste en el riesgo de polinización cruzada entre variedades transgénicas y orgánicas en campos vecinos, lo que compromete la importante necesidad de los agricultores ecológicos de que sus productos sean certificados como realmente orgánicos.

Para justificar sus prácticas, los defensores de la biotecnología proclaman a menudo que la ingeniería genética es igual que la hibridación convencional: una mera continuación de la tradición ancestral de mezclar genes para obtener cosechas y ganado más productivos. En ocasiones llegan incluso a argumentar que nuestras biotecnologías modernas representan el último paso en la aventura evolutiva de la naturaleza. Nada podría estar más lejos de la verdad. Para comenzar, el ritmo de alteración genética a través de la biotecnología es muchísimo más rápido que el de la naturaleza. Ningún agricultor convencional podría alterar los genomas de la mitad de las plantaciones de soja del mundo en tan sólo tres años. La modificación genética de cultivos se está llevando a cabo con una celeridad pasmosa; las variedades transgénicas están siendo plantadas masivamente sin ninguna comprobación previa adecuada de sus impactos a corto y largo plazo, tanto sobre el medio ambiente como sobre la salud humana. Esas plantaciones sin verificar y llenas de riesgos potenciales de variedades GM se extienden a toda prisa por todo el mundo y crean una situación de riesgo irreversible.

Una segunda diferencia entre ingeniería genética y cultivo convencional consiste en que los agricultores convencionales transfieren genes entre variedades que se entrecruzan naturalmente, mientras que la ingeniería genética permite a los biólogos introducir un gen completamente nuevo y exótico en el genoma de una planta, un gen de otra planta o de un animal con los que

la planta receptora nunca podría emparejarse de forma natural. De este modo los científicos cruzan las barreras entre especies con la ayuda de vectores agresivos de transferencia genética, muchos de los cuales proceden de virus causantes de enfermedades que pueden recombinarse con otros virus existentes en el entorno y generar nuevos patógenos.⁹⁵ Como manifestó un bioquímico en una conferencia reciente: «La ingeniería genética se parece más a una infección vírica que al cultivo tradicional.»⁹⁶

La lucha global por la cuota de mercado dicta no tan sólo el ritmo de la producción y el despliegue de las variedades transgénicas, sino también la dirección fundamental de la investigación. Tal vez sea ésta la diferencia más preocupante entre la ingeniería genética y todas las anteriores técnicas para mezclar genes, tanto a través de la evolución como del cultivo natural. En palabras de la desaparecida biofísica Donella Meadows: «La naturaleza selecciona de acuerdo con la capacidad de prosperar y reproducirse en el medio. Los agricultores han ido seleccionando a lo largo de diez mil años de acuerdo con lo que sirve para alimentar a la gente. Ahora el criterio de selección consiste en qué puede ser patentado y vendido.»⁹⁷

Puesto que, hasta ahora, uno de los principales objetivos de la biotecnología vegetal ha consistido en incrementar la venta de productos químicos, gran parte de sus riesgos medioambientales son similares a los creados por la agricultura química.⁹⁸ La tendencia a crear amplios mercados globales para un solo producto genera vastos monocultivos que reducen la biodiversidad, con lo que disminuye la seguridad alimentaria y se incrementa la vulnerabilidad de los cultivos ante enfermedades, plagas de insectos y malas hierbas. Esos problemas resultan particularmente agudos en los países en desarrollo, donde los sistemas tradicionales de diversidad de cultivos y alimentos están siendo rápidamente desbancados por monocultivos que llevan a innumerables especies a la extinción y crean nuevos problemas de salud a las poblaciones rurales.⁹⁹

La historia del «arroz dorado», variedad genéticamente modificada, constituye un ejemplo esclarecedor. Hace unos cuan-

tos años, un pequeño equipo de genetistas idealistas, sin soporte de la industria, creó un arroz amarillo con alto contenido de betacaroteno, que el cuerpo humano transforma en vitamina A. El arroz fue promovido como cura para la ceguera y otras deficiencias visuales causadas por el déficit de esta vitamina. Según las Naciones Unidas, esta deficiencia afecta a más de dos millones de niños.

Las noticias de esta «cura milagrosa» fueron recibidas con entusiasmo por los medios de comunicación, pero un examen más detallado demuestra que, en lugar de ayudar a esas criaturas en peligro, lo más probable es que el proyecto esté repitiendo los errores de la Revolución Verde y añadiendo, de paso, nuevos riesgos al medio ambiente y a la salud humana.¹⁰⁰ Al reducir la biodiversidad, el cultivo del arroz vitamínico eclipsará a otras fuentes de vitamina A disponibles en los sistemas agrícolas tradicionales. La agroecóloga Vandana Shiva señala que las mujeres agricultoras de Bengala, por ejemplo, utilizan tradicionalmente numerosas variedades de verduras, que son fuentes excelentes de betacaroteno. Quienes sufren los mayores déficit de vitamina A son los pobres, que sufren también de malnutrición en general y que se beneficiarían mucho más del desarrollo de una agricultura biodiversa, sostenible y basada en la comunidad que de variedades GM que no van a poder costearse.

En Asia la vitamina A procede a menudo de frutas y verduras cultivadas en secano, mientras que el cultivo de arroz es intensivo en uso de agua y requiere la extracción de aguas profundas o la construcción de embalses, con todos los problemas medioambientales asociados. Es más, como en el caso de las demás variedades GM, sabemos todavía muy poco acerca del impacto ecológico del arroz dorado sobre los organismos del suelo y sobre otras especies de la cadena trófica que dependen del arroz. «Promocionarlo como instrumento contra la ceguera ignorando alternativas más seguras y más baratas proporcionadas por nuestra rica agrobiodiversidad», concluye la doctora Shiva, «no es ni más ni menos que un planteamiento ciego del control de la ceguera.»

La mayoría de los riesgos ecológicos ligados a las variedades superresistentes a herbicidas, como en el caso de la soja transgénica Roundup Ready de Monsanto, derivan del uso cada vez más intensivo del herbicida de la empresa. Puesto que la resistencia a ese herbicida específico constituye el único –y ampliamente anunciado– beneficio diferencial, los agricultores se ven compelidos de forma natural a usar cantidades masivas del biocida en cuestión. Está bien documentado que un uso de esas características de un único herbicida dispara en gran medida la resistencia a él en las poblaciones de malas hierbas, lo cual pone en marcha una espiral diabólica de uso cada vez más intensivo del mismo herbicida.

Semejante utilización de tóxicos químicos en la agricultura es particularmente dañina para los consumidores. Cuando las plantas son repetidamente rociadas con un herbicida, acaban reteniendo residuos tóxicos que aterrizan en el plato. Es más, las plantas que crecen en presencia de cantidades masivas de biocidas pueden sufrir de estrés y acaban, típicamente, produciendo determinadas sustancias en defecto o en exceso. Se sabe ya que las leguminosas resistentes a herbicidas tienden a producir niveles más elevados de estrógenos vegetales, lo cual puede provocar graves disfunciones en los sistemas reproductores humanos, particularmente entre los varones en la infancia y preadolescencia.¹⁰¹

Casi el ochenta por ciento de la superficie plantada con variedades GM lo está con plantas resistentes a herbicidas. El veinte por ciento restante consiste en plantaciones de variedades denominadas «resistentes a insectos». Se trata de vegetales genéticamente modificados para producir pesticidas en cada una de sus células a lo largo de todo su ciclo vital. El ejemplo más conocido es el de un insecticida natural, la bacteria *Bacillus thuringiensis*, conocida comúnmente como Bt, cuyos genes productores de toxinas han sido incorporados a algodón, maíz, patatas y manzanas, entre otros cultivos.

Las plantas resultantes son inmunes a determinados insectos. Sin embargo, habida cuenta de que la mayoría de los culti-

vos están expuestos a múltiples plagas de insectos, sigue siendo necesaria la aplicación de insecticidas. Un estudio reciente realizado en los Estados Unidos ha demostrado que, en siete de cada doce plantaciones, no existe una diferencia sustancial en el uso de insecticidas entre las plantaciones Bt y las no Bt. En una explotación concreta el uso de insecticidas en variedades Bt era incluso superior que en las no Bt.¹⁰²

Los riesgos de los cultivos Bt son consecuencia de importantes diferencias entre la bacteria natural y las variedades Bt genéticamente modificadas. Los agricultores orgánicos han venido usando esa bacteria desde hace más de cincuenta años para controlar los escarabajos, las orugas y las polillas. La utilizan con mesura, rociando sus plantaciones únicamente de forma ocasional, de modo que los insectos no lleguen en ningún caso a desarrollar resistencia a la bacteria. Sin embargo, cuando la toxina es producida constantemente por todas las células de todas las plantas en cientos de miles de hectáreas, sus predadores están expuestos a ella sin cesar, por lo que acabarán inevitablemente desarrollando la correspondiente resistencia.

En consecuencia, la Bt se volverá rápidamente inútil, tanto en las plantaciones Bt como en cuanto a insecticida natural. De este modo la biotecnología vegetal habrá conseguido destruir una de las herramientas biológicas más importantes del tratamiento integrado de plagas. Incluso científicos de la industria biotecnológica admiten que la Bt será inútil en un plazo no superior a diez años, pero eso no parece preocupar a las empresas biotecnológicas, cuyas patentes al respecto ya habrán caducado para entonces y estarán dedicadas a la promoción de otros tipos de plantas productoras de insecticidas.

Otra diferencia entre la Bt natural y las variedades transgénicas productoras de esa toxina consiste en que éstas parecen perjudicar a un número muy superior de insectos, incluyendo muchos que son beneficiosos para el ecosistema como un todo. En 1999 un estudio publicado en *Nature* sobre la destrucción de orugas de la mariposa monarca por polen de maíz Bt causó impacto entre la opinión pública.¹⁰³ Desde entonces se ha des-

cubierto que las toxinas de las plantaciones Bt afectan también a mariposas, abejas y otros insectos beneficiosos.

Las toxinas Bt en plantas GM son también perjudiciales para los ecosistemas del suelo. En la medida en que los agricultores incorporan restos de sus plantaciones al suelo después de la cosecha, la toxina se va acumulando en él, donde, en muchos casos, perjudicará a las miríadas de microorganismos que son la base de un ecosistema del suelo sano.¹⁰⁴

Además de los efectos perjudiciales de las variedades Bt por encima del suelo y dentro de él, los riesgos directos para la salud humana constituyen, obviamente, una de las principales fuentes de preocupación. Por el momento sabemos muy poco de los efectos potenciales de esa toxina sobre los microorganismos que son vitales en nuestro sistema digestivo. Sin embargo, habida cuenta de que ya se han podido detectar numerosas consecuencias de su utilización sobre los microorganismos del suelo, la presencia invasora de Bt en patatas, maíz y otros cultivos alimentarios debería comenzar a preocuparnos.¹⁰⁵

Los riesgos medioambientales de las biotecnologías vegetales actuales son evidentes para cualquier agroecólogo, aunque los detalles pormenorizados de los efectos de las variedades GM sobre los ecosistemas agrícolas son aún muy pobremente comprendidos. Además de los riesgos previsibles, se han observado ya numerosos e inesperados efectos colaterales en animales y plantas GM.¹⁰⁵

Monsanto se enfrenta ya a numerosos pleitos interpuestos por agricultores que han tenido que apechugar con esos efectos colaterales inesperados. Por ejemplo, los copos de su algodón Bt crecieron deformados y se caían de la planta en miles de hectáreas de plantaciones del delta del Mississippi, y sus semillas de colza transgénica tuvieron que ser retiradas del mercado canadiense por contaminación con otros genes. De forma parecida, el tomate Flavr-Savr de Calgene, genéticamente modificado para aguantar más tiempo en el mercado, fue un desastre comercial y pronto desapareció. Las patatas transgénicas diseñadas para el consumo humano causaron graves problemas a las

ratas de laboratorio que las consumieron, incluyendo desarrollo de tumores, atrofia del hígado y retracción del cerebro.¹⁰⁶

En el reino animal, donde la complejidad celular es mucho mayor, los efectos colaterales para las especies genéticamente modificadas son aún mucho más graves. Los «supersalmones», variedad genéticamente modificada de este pez para un crecimiento rápido y muy superior al normal, acabaron desarrollando cabezas monstruosas y muriendo por incapacidad de respirar y alimentarse adecuadamente. De forma parecida, un «supercerdo» con un gen humano incorporado para desarrollar determinada hormona era ulceroso, ciego e impotente.

Sin embargo, tal vez la historia más horrenda y mejor conocida sea la de la hormona genéticamente modificada denominada «hormona recombinante del crecimiento bovino», utilizada para estimular la producción de leche de vaca, a pesar de que los granjeros estadounidenses llevan cincuenta años produciendo mucha más de la que el mercado es capaz de consumir. Los efectos de esa locura de la ingeniería genética sobre las vacas son muy serios, e incluyen flatulencia, diarrea, debilidad en rodillas y patas y ovarios quísticos, entre otros. Por si fuera poco, su leche puede contener una sustancia relacionada con los cánceres de mama y de estómago humanos.

Dado que la dieta de esas vacas GM requiere un mayor aporte de proteínas, su alimentación comenzó a suplementarse en algunos países con restos triturados de otros animales. Semejante práctica completamente antinatural, que convertiría en caníbal a un rumiante vegetariano, ha sido relacionada con la emergencia de la epidemia de encefalopatía espongiforme bovina (enfermedad de las «vacas locas») y de su análoga humana, una variante de la enfermedad de Creutzfeldt-Jakob. Se trata, sin duda, de uno de los casos más notorios de biotecnología fuera de control. Como señala el biólogo David Ehrenfeld: «No parece que haya muchos motivos para incrementar los riesgos de esa terrible enfermedad, simplemente, para favorecer a una biotecnología que ni siquiera necesitamos. Si dejamos a las vacas pacer tranquilamente, al margen de las hormonas, todos saldremos ganando.»¹⁰⁷

A medida que los alimentos GM van invadiendo nuestros mercados, sus riesgos para la salud se agravan por el hecho de que la industria de la biotecnología, con el apoyo de las correspondientes agencias reguladoras gubernamentales, rehúsa etiquetar adecuadamente sus productos, de modo que a los consumidores les resulta imposible discriminar entre alimentos GM y no GM. En los Estados Unidos la industria biotecnológica ha persuadido a la Food and Drug Administration (FDA) para que considere los alimentos GM «sustancialmente equivalentes» a los alimentos tradicionales, lo cual permite a sus productores evadir las comprobaciones previstas por la FDA y la Environmental Protection Agency (EPA),* y deja asimismo a criterio de esas empresas reflejar o no en el etiquetado de sus productos que se trata de alimentos GM. De este modo al público le pasa inadvertida la invasión de alimentos transgénicos y a los científicos les será mucho más difícil seguir su rastro en caso de consecuencias dañinas. De hecho, comprar alimentos orgánicos es, hoy por hoy, la única forma de evitar los alimentos GM.

Documentos confidenciales filtrados de un juicio clasificado han revelado que incluso científicos de la propia FDA no están de acuerdo con ese concepto de «equivalencia sustancial».¹⁰⁸ Además, la posición de la industria biotecnológica presenta una contradicción inherente: por una parte, proclama que sus productos son sustancialmente equivalentes a los tradicionales y que, por consiguiente, no necesitan una verificación ni un etiquetado específicos, mientras que, por otra, insiste en que son novedosos y, por lo tanto, pueden ser patentados. Como resume Vandana Shiva: «El mito de la “equivalencia sustancial” ha sido creado para negar a la ciudadanía el derecho a su seguridad y a los científicos el de practicar una ciencia sólida y honesta.»¹⁰⁹

En su empeño por patentar, explotar y monopolizar todos los aspectos posibles de la biotecnología, las principales corporaciones agroquímicas han ido comprando empresas semilleras y biotecnológicas, y se han disfrazado de «corporaciones dedicadas a las ciencias de la vida». ¹¹⁰ Las fronteras tradicionales entre industria farmacéutica, industria agroquímica e industria biotecnológica se están diluyendo rápidamente a medida que las corporaciones se unen para formar, bajo la bandera de las ciencias de la vida, conglomerados aún más gigantescos. Ciba-Geigy se unió con Sandoz para constituir Novartis, Hoechst y Rhone Poulenc se convirtieron en Aventis, Monsanto posee y controla varias grandes semilleras.

Todas esas grandes corporaciones de ciencias de la vida tienen en común una reducida comprensión de la vida, basada en la creencia errónea de que la naturaleza puede estar sujeta al control humano, postura que ignora la dinámica autogeneradora y autoorganizadora que constituye la esencia misma de la vida y redefine los organismos vivos como máquinas que pueden ser manejadas desde el exterior, susceptibles de ser patentadas, vendidas y compradas como cualquier otro recurso industrial. La vida se ha convertido en la mercancía definitiva.

Como nos recuerda Vandana Shiva, la raíz latina del término «recurso» es *resurgere* («surgir de nuevo»). En el significado antiguo de la palabra, cualquier recurso natural, como todo lo vivo, es inherentemente autorrenovador. Esta comprensión profunda de la vida es negada por las nuevas corporaciones de ciencias de la vida cuando impiden deliberadamente la autorrenovación de la vida, con el objetivo de convertir los recursos naturales en materias primas comercializables para uso industrial, cosa que hacen utilizando una combinación de alteraciones genéticas (que incluyen tecnologías terminator) ¹¹¹ y patentes, lo cual viola las prácticas agrícolas ancestrales que han respetado los ciclos de la vida.

Puesto que una patente se entiende tradicionalmente como el derecho en exclusiva a utilizar y comercializar determinado invento, parece extraño que las empresas biotecnológicas puedan

hoy patentar organismos vivos, desde bacterias hasta células humanas. La historia de este logro constituye un compendio de prestidigitación científica y legal. ¹¹² La patente de formas de vida se convirtió en práctica habitual en los años sesenta, cuando se comenzaron a otorgar derechos de propiedad a criadores de plantas sobre nuevas variedades de flores obtenidas mediante el ingenio y la intervención del ser humano. En menos de veinte años la comunidad legal había conseguido transformar esta práctica aparentemente inofensiva en el monopolio de la propia vida.

El paso siguiente fue la patente de variedades alimenticias desarrolladas por el ser humano, y bien pronto legisladores y reguladores aceptaban que no había una base teórica sobre la que negar la ampliación de las patentes industriales a animales y microorganismos. De hecho, en el año 1980 el Tribunal Supremo de los Estados Unidos dictó la sentencia que estableció definitivamente las reglas del juego, al fallar que los organismos genéticamente modificados podían ser patentados.

Estos argumentos legales ignoraban convenientemente el hecho de que las patentes iniciales sobre variedades *mejoradas* de flores no incluían el material base, que seguía considerándose «herencia común de la humanidad». ¹¹³ Las patentes concedidas en la actualidad a las empresas de biotecnología, en cambio, no tan sólo incluyen los métodos por los que las secuencias de ADN son identificadas, aisladas y transferidas, sino también el propio material genético subyacente. Es más, la legislación nacional y los convenios internacionales que prohíben específicamente la patente de recursos naturales esenciales, tales como alimentos y medicinas derivadas de plantas, están siendo modificados de acuerdo con la visión corporativa de la vida como mercancía comercializable.

En los últimos años, la patente de formas de vida ha dado pie a una nueva forma de piratería, que podemos denominar justificadamente «biopiratería». Cazadores de genes recorren los países del Sur en busca de recursos genéticos valiosos, tales como semillas de plantas medicinales, a menudo con la ayuda de las poblaciones autóctonas, que, inocentemente, les proporcionan materiales y conocimientos. Esos recursos son entonces entrega-

dos a los laboratorios del Norte, donde son aislados, genéticamente identificados y patentados.¹¹⁴

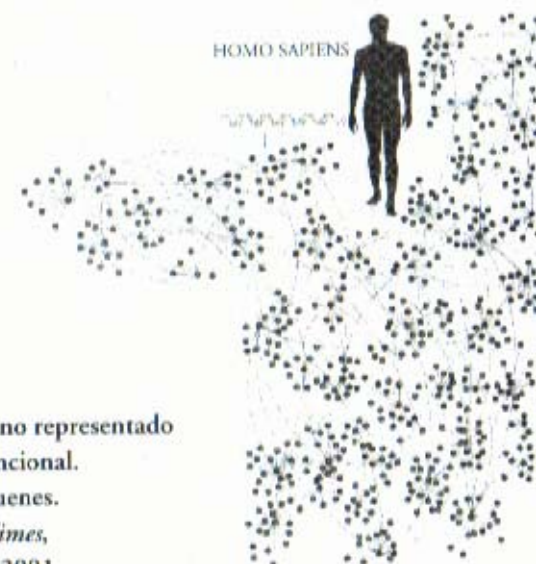
Estas prácticas expoliadoras son legalizadas por la restringida definición que hace la OMC del derecho de propiedad intelectual, definición que reconoce como patentable el conocimiento únicamente cuando éste es expresado dentro del marco de la ciencia occidental. Como señala Vandana Shiva: «Eso excluye todas las clases de conocimiento, ideas e innovaciones que se originen en medios culturales tan comunes como los pueblos, entre los campesinos, las selvas, entre las tribus, e incluso las universidades, entre los científicos.»¹¹⁵ Se extiende así la explotación de la vida incluso más allá de los organismos vivos, hasta incluir el conocimiento y las innovaciones colectivas de las comunidades indígenas. «Sin consideración ni respeto por otras especies y otras culturas», concluye la doctora Shiva, «los derechos sobre la propiedad intelectual constituyen una ofensa moral, ecológica y cultural.»

CAMBIA LA MAREA

En los últimos años, los problemas de salud provocados por la ingeniería genética, así como sus problemas asociados más profundos —sociales, ecológicos y éticos—, han salido a la luz pública, por lo que ha surgido un movimiento global de rechazo de estas tecnologías que crece rápidamente.¹¹⁶ Numerosas organizaciones sanitarias y medioambientales han solicitado una moratoria del uso comercial y la liberación al medio natural de organismos modificados, hasta que se haya realizado una profunda investigación pública sobre el uso legítimo y seguro de la ingeniería genética.¹¹⁷ Esos llamamientos proponen asimismo la prohibición de patentes de organismos vivos o partes de ellos, así como que el principio de precaución debería constituir la base de cualquier planteamiento en relación con la biotecnología. Este principio, que aparece en acuerdos internacionales desde la Cumbre por la Tierra de 1992 y que se conoce técnicamente como principio número 15 de la Declaración de

Rio, especifica que «Cuando existan amenazas de daños serios o irreversibles, la falta de una certidumbre científica plena no deberá ser utilizada como razón para posponer medidas eficaces que prevengan la degradación del medio ambiente».

El cambio de énfasis en biología molecular, de la estructura de las secuencias genéticas a la organización de las redes genéticas y epigenéticas, de los programas genéticos a las propiedades emergentes, significa también que los llamamientos crecientes a un cambio radical del enfoque de la biotecnología no vienen tan sólo de parte de ecologistas, de profesionales de la salud y de ciudadanos concienciados, sino también —y cada vez más— de genetistas destacados, como ya he documentado a lo largo del presente capítulo. Tras los intrigantes descubrimientos del Proyecto Genoma Humano el debate sobre el presente cambio de paradigma en biología ha llegado incluso a la prensa de divulgación científica. En mi opinión, resulta significativo que una sección especial del *New York Times*, dedicada a los resultados del Proyecto Genoma Humano, presentara por primera vez la imagen del genoma como una red funcional completa (ver imagen).



El genoma humano representado como una red funcional.

Diseño: Steve Duenes.
The New York Times,
13 de febrero de 2001

Una vez que la visión sistémica de la vida haya sido adoptada por nuestros científicos, nuestros ingenieros y nuestros líderes, políticos y corporativos, podremos concebir una clase radicalmente distinta de biotecnología, que comenzaría con el deseo de aprender de la naturaleza en lugar de pretender controlarla, de utilizarla como mentor en lugar de como mera fuente de materias primas. En vez de tratar la red de la vida como una mercancía más, la respetaríamos como lo que es: el contexto de nuestra propia existencia.

Esta nueva clase de biotecnología no implicaría ya la modificación genética de organismos vivos, sino el uso de la ingeniería genética para comprender los sutiles «diseños» de la naturaleza a fin de utilizarlos como modelos para nuevas tecnologías humanas. Podríamos integrar el conocimiento ecológico en el diseño de materiales y procesos tecnológicos nuevos, y aprender de plantas, animales y microorganismos el modo de producir fibras, plásticos y compuestos químicos no tóxicos, completamente biodegradables y sujetos a reciclado continuo.

Éstas serían *biotecnologías* en un nuevo sentido del término, puesto que las estructuras materiales de la vida se basan en proteínas que tan sólo podríamos producir con la ayuda de enzimas procedentes de organismos vivos. El desarrollo de estas nuevas biotecnologías constituye un reto intelectual fenomenal, habida cuenta de que desconocemos todavía cómo ha desarrollado la naturaleza, a lo largo de miles de millones de años de evolución, unas «tecnologías» infinitamente superiores a cualquier diseño humano. ¿Cómo producen los mejillones un pegamento que se adhiere a cualquier cosa dentro el agua? ¿Cómo consiguen las arañas tejer su tela con una hebra de seda que es cinco veces más fuerte que el acero? ¿Cómo consiguen las orejas de mar producir una concha dos veces más dura que la cerámica fabricada con nuestra tecnología más avanzada? ¿Cómo logran esos animales producir semejantes materiales milagrosos en el agua, a temperatura ambiente, en silencio y sin residuos tóxicos?

Encontrar respuestas a estas preguntas, y utilizarlas en el desarrollo de tecnologías inspiradas en la naturaleza, podría pro-

porcionar apasionantes programas de investigación para científicos e ingenieros durante muchas décadas futuras. De hecho, tales programas han comenzado ya. Forman parte de un estimulante campo nuevo de la ingeniería y el diseño, conocido como «bioimitación» o –más popularmente– «ecodiseño», que está generando una ola de optimismo en cuanto a las posibilidades de la humanidad para avanzar hacia un futuro sostenible.¹¹⁸

En su libro titulado *Biomimicry* la escritora científica Janine Benyus nos transporta, en un viaje fascinante, a numerosos laboratorios y estaciones de campo donde equipos interdisciplinarios de científicos e ingenieros analizan con detalle las estructuras físicas y químicas de los materiales más complejos de la naturaleza para tratar de adaptar estas soluciones al uso humano.

Científicos de la Universidad de Washington han estudiado la estructura y los procesos de ensamblaje moleculares del suave recubrimiento del interior de la concha de la oreja de mar, que muestra una delicada irisación y es tan duro como las uñas. Tras lograr imitar el proceso de ensamblaje molecular de este material a temperatura ambiente, consiguieron un producto duro y transparente, que podría ser un excelente recubrimiento para los parabrisas de coches eléctricos ultraligeros. Investigadores alemanes han imitado la microsuperficie desigual y autolimpiante de las hojas del loto para tratar de producir una pintura para edificios de idénticas prestaciones. Biólogos y bioquímicos marinos llevan varios años estudiando el extraño proceso químico que emplea el mejillón para secretar un adhesivo que pega dentro del agua, y estudian sus potenciales aplicaciones médicas, que permitirían a los cirujanos unir ligamentos y tejidos en un ambiente fluido. Físicos y bioquímicos colaboran en varios laboratorios para estudiar las complejas estructuras y procesos implicados en la fotosíntesis, con la esperanza de llegar a desarrollar nuevas células solares.

Sin embargo, al mismo tiempo que tienen lugar todas estas iniciativas apasionantes, el credo fundamental del determinismo genético, consistente en que los genes determinan el comportamiento, sigue siendo defendido por numerosos científicos, tan-

to en empresas de biotecnología como en el entorno académico. Habría que preguntarse si aún lo creen realmente y, en caso contrario, qué los mueve a seguir manteniendo esa actitud.

Tras debatir en varias reuniones esta cuestión con biólogos moleculares, he llegado a la conclusión de que existen diversas razones por las que los científicos creen que deben mantener el dogma del determinismo genético, a pesar de la creciente evidencia contra él. Los científicos industriales son a menudo contratados para proyectos concretos, específicamente definidos, trabajan bajo estricta vigilancia y tienen prohibido debatir las posibles implicaciones de sus investigaciones, sobre todo lo cual se les obliga a firmar cláusulas de confidencialidad. En las empresas de biotecnología, en particular, la presión para amoldarse a la doctrina oficial del determinismo genético es enorme.

En el mundo académico las presiones son de otra índole, pero, lamentablemente, casi igual de fuertes. Debido al desmesurado coste de las investigaciones genéticas, los departamentos de biología forman cada vez más alianzas con corporaciones biotecnológicas para recibir sustanciosas aportaciones económicas que, obviamente, condicionan la naturaleza y la dirección de sus investigaciones. Como señala Richard Strohman: «Los biólogos académicos y los investigadores industriales se han vuelto indiferenciables. Es práctica habitual que se otorguen premios especiales para esa clase de colaboración entre ambos sectores, comportamiento que hasta hace poco se hubiera considerado un conflicto de intereses.»¹²⁰

Los biólogos están acostumbrados a formular sus peticiones de fondos en términos de determinismo genético, puesto que saben que eso es lo que se financia. Prometen a sus patrocinadores que del conocimiento futuro de la estructura genética van a derivarse determinados resultados, a pesar de saber bien que los avances científicos son siempre inesperados e impredecibles. Durante sus años de estudiante aprenden a adoptar ese doble nivel moral, que luego mantienen a lo largo de sus carreras académicas.

Además de esas presiones evidentes, existen también barreras cognitivas y psicológicas más sutiles, que garantizan que los

biólogos no vayan a pasarse a la visión sistémica de la vida. El reduccionismo continúa siendo el paradigma dominante en su educación, por lo que no están nada familiarizados con conceptos tales como autoorganización, redes o propiedades emergentes. Por otro lado, incluso dentro de los confines del paradigma reduccionista, la investigación genética puede ser tremendamente apasionante: la cartografía del genoma humano, por ejemplo, constituye un logro fascinante, impensable para los científicos de hace tan sólo una generación. Es comprensible que muchos genetistas se apasionen con su trabajo y deseen continuar con sus investigaciones bien financiadas, sin preocuparse por las implicaciones de carácter más amplio.

Por último, no hay que olvidar que la ciencia es un empeño fundamentalmente colectivo. Los científicos experimentan una fuerte necesidad de pertenencia a sus comunidades intelectuales, por lo que no es fácil que hablen en contra de ellas. Incluso académicos con carreras brillantes y premios prestigiosos en su haber se muestran a menudo reticentes a manifestar una actitud crítica.

A pesar de todas estas barreras, la oposición mundial al patentado, la comercialización y la liberación al medio natural de organismos genéticamente modificados, combinada con las recientes pruebas de las limitaciones de las bases teóricas de la ingeniería genética, demuestran que el edificio del determinismo genético se está derrumbando. Como dice Evelyn Fox Keller: «Parece ya evidente que la primacía del gen como concepto explicativo básico de la estructura y la función biológicas es una característica del siglo XX que quizá no lo sea del XXI.»¹²¹ En conclusión, cada vez es más patente que la biotecnología está llegando a una encrucijada que es a un tiempo científica, filosófica y política.

A medida que se inicia la andadura de este nuevo siglo, resulta cada vez más evidente que el Consenso de Washington neoliberal y las normas políticas y económicas señaladas por el G-7 y las instituciones financieras por él creadas (BM, FMI y OMC) están profundamente desencaminados. Los análisis realizados por intelectuales y líderes sociales citados a lo largo de esta obra demuestran que la «nueva economía» provoca una serie de consecuencias dañinas imprevistas: aumento de las desigualdades y la marginación social, quiebra de la democracia, deterioro más rápido y más extensivo del medio natural, e incremento de la pobreza y la alienación. El nuevo capitalismo global ha creado asimismo una economía delictiva de ámbito planetario que afecta profundamente a la economía y la política nacionales e internacionales, ha destruido, y amenaza con destruir, comunidades enteras en todo el mundo y, con su empeñamiento en una biotecnología mal concebida, ha profanado el santuario de la vida al tratar de convertir la biodiversidad en monocultivo, la ecología en ingeniería y la propia vida en mercancía.

EL ESTADO DEL MUNDO

A pesar de las nuevas regulaciones medioambientales, la disponibilidad creciente de productos que no dañan al medio am-

biente y de muchos otros avances alentadores conseguidos por la presión de los movimientos ecologistas, la pérdida masiva de bosques y la mayor extinción de especies que se han visto desde hace millones de años no han invertido su curso.¹ Al reducir nuestros recursos naturales y disminuir la biodiversidad del planeta dañamos la trama misma de la vida de la que depende nuestro bienestar, el cual incluye los impagables «servicios ecosistémicos» que la naturaleza ofrece gratis: procesado de residuos, regulación del clima, regeneración de la atmósfera, etcétera.² Estos procesos vitales son propiedades emergentes de sistemas no lineales vivos que comenzamos tan sólo a comprender, y que están ahora en serio peligro debido a nuestra búsqueda lineal de crecimiento económico y consumo material.

Estos peligros se han exacerbado con el cambio climático producido por nuestro sistema industrial. La relación causal entre calentamiento global y actividad humana ha dejado de ser hipotética. A finales de 2000 el prestigioso Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático hizo pública la declaración consensuada más solemne de su historia, en el sentido de que la liberación humana a la atmósfera de dióxido de carbono y de otros gases causantes del efecto invernadero «contribuía significativamente al calentamiento observado a lo largo de los últimos cincuenta años».³ A finales del siglo XXI, predijo el Panel, la temperatura media podría haber subido 6 °C, un salto mayor que la diferencia entre la última glaciación y la actualidad. Ello haría que los sistemas naturales y los sistemas económicos humanos estuvieran expuestos a los riesgos de aumento del nivel de los mares, tempestades más devastadoras y sequías más intensas.⁴

A pesar de que ha habido recientemente cierta disminución en la emisión global de carbono a la atmósfera, no se ha reducido la progresión del cambio climático. Por el contrario, la evidencia reciente demuestra que se está acelerando. Esta evidencia procede de dos observaciones distintas, pero igualmente preocupantes: la rápida fusión de los glaciares y del mar de hielo ártico, y la cada vez peor salud de los arrecifes de coral.

La fusión de glaciares a un ritmo extraordinario en todo el mundo constituye una de las señales de alarma más ominosas del calentamiento provocado por la combustión incesante de combustibles fósiles. Es más, los científicos que, en julio de 2000, alcanzaron el Polo Norte a bordo del rompehielos ruso *Yamal* se encontraron con una visión inesperada y espeluznante: donde hubiera debido estar la gruesa capa de hielo que ha cubierto durante milenios el océano Ártico había un brazo de mar de casi dos kilómetros de ancho.⁵

Si esta fusión masiva continúa, sus efectos planetarios serán tremendos. Recientemente se ha descubierto que el hielo ártico constituye un importante elemento en la dinámica de la corriente del Golfo. Su retirada del sistema de circulación del Atlántico Norte cambiaría drásticamente el clima de Europa y afectaría a otras partes del mundo.⁶ Es más, la disminución de la superficie de hielo se traduciría en una menor reflexión de los rayos solares, lo cual aceleraría a su vez el calentamiento planetario, y de este modo se activaría una espiral de consecuencias imprevisibles. En el peor escenario imaginado por los científicos del Panel, las nieves del Kilimanjaro, inmortalizadas por el famoso relato breve de Hemingway, podrían desaparecer en quince años, al igual que la nieve de los Alpes.

Menos visible que la fusión de los glaciares de alta montaña, pero igualmente significativa, es la alarmante comprobación del calentamiento de los océanos tropicales. En muchas partes del trópico las aguas poco profundas albergan enormes arrecifes de coral formados por grandes colonias de pólipos durante largas etapas de tiempo geológico. Estas estructuras masivas —con mucho las más grandes jamás formadas por organismos vivos sobre la Tierra— constituyen el hogar de innumerables plantas, animales y microorganismos. Junto con las selvas tropicales, los arrecifes de coral de los trópicos son los ecosistemas más complejos del planeta, verdaderas maravillas de biodiversidad.⁷

En los últimos años los arrecifes coralinos de todo el mundo, desde el Caribe hasta el océano Índico y la Gran Barrera de Arrecifes de Australia, han estado sometidos a un es-

trés medioambiental que amenaza su vida, en buena medida debido al aumento de la temperatura del agua. Los pólipos del coral son extremadamente sensibles a los cambios de temperatura de su medio acuático, y palidecen y se mueren si la temperatura del agua del océano asciende, aunque sea ligeramente. En 1998 biólogos marinos estimaron que más de una cuarta parte de los arrecifes de coral del mundo estaban enfermos o agonizaban. Dos años más tarde se informó de que la mitad de los vastos arrecifes coralinos que rodean el archipiélago indonesio habían sido destruidos por la contaminación, la deforestación y el aumento de la temperatura del agua.⁸ Esta destrucción masiva de los arrecifes de coral en todo el planeta constituye una de las indicaciones más claras y preocupantes del calentamiento global.

Al mismo tiempo que los científicos van dando cuenta de señales del calentamiento global, tanto en el Ártico como en los trópicos, aumentan la frecuencia y la intensidad de fenómenos «naturales» con efectos devastadores, causados en parte por el cambio climático inducido por los humanos, junto con otras prácticas ecológicamente destructivas. Tan sólo en el año 1998 tres de estos desastres azotaron a diversas zonas del planeta, y cada uno de ellos provocó la pérdida de miles de vidas humanas y daños económicos catastróficos.⁹

El huracán Mitch, la peor tormenta atlántica en doscientos años, segó diez mil vidas y devastó extensas zonas de América Central; sus consecuencias para el desarrollo de la región se dejarán sentir durante décadas. Los efectos de la tormenta fueron agravados por la combinación de cambio climático, deforestación debida a presión humana y erosión. En China las catastróficas inundaciones del río Yang-Tse, que provocaron más de cuatro mil víctimas mortales y anegaron veinticinco millones de hectáreas de cultivo, fueron en gran medida consecuencia de la deforestación que había despojado previamente a las laderas de las montañas de su manto vegetal. En el mismo año Bangladesh sufrió la inundación más devastadora del siglo, que acabó con la vida de mil cuatrocientas personas y mantuvo bajo el agua a dos

tercios del país durante varios meses. Los efectos de esa inundación se vieron exacerbados al llover intensamente sobre zonas deforestadas, así como por la obstrucción de los cauces de los ríos a causa de la sedimentación.

Debido al calentamiento global el nivel de los mares va subiendo regularmente. En el siglo XX ascendió unos veinte centímetros, y, de seguir las tendencias actuales, a finales del siglo XXI habrá subido otros cincuenta. Los meteorólogos predicen que esto representará un peligro para los principales deltas del mundo –los del Ganges, el Amazonas y el Misisipí–, y que la subida del océano podría llegar incluso a anegar el metro de la ciudad de Nueva York.¹⁰

La creciente marea (a menudo literalmente) de catástrofes naturales de la pasada década constituye una clara indicación de que la inestabilidad climática causada por las acciones humanas va en aumento, así como de que perturbamos el buen funcionamiento de los ecosistemas sanos que nos proporcionan protección ante esa clase de desastres. Como señala Janet Abramovitz, del Worldwatch Institute:

Numerosos ecosistemas han sido agotados hasta el extremo de que han perdido su resistencia, y ya no pueden absorber las perturbaciones naturales, lo que prepara el escenario adecuado para la ocurrencia de «desastres naturales», de frecuencia e intensidad crecientes, a causa de las acciones humanas. Al destruir bosques, represar ríos, desecar humedales y desestabilizar el clima, estamos deshaciendo el entramado de una compleja red ecológica de seguridad.¹¹

Análisis detallados de la dinámica subyacente tras los desastres naturales más recientes demuestran que, en todos los casos, el estrés medioambiental y el estrés social están íntimamente ligados.¹² La pobreza, la escasez de recursos y la expansión demográfica se combinan para crear círculos viciosos de degradación y ruina, tanto en los ecosistemas como en las comunidades humanas locales.

La principal lección que se extrae de estos análisis es que las causas de la mayoría de nuestros problemas presentes, tanto medioambientales como sociales, tienen sus raíces en nuestros sistemas económicos. Como ya he señalado anteriormente, la forma actual de capitalismo global es ecológica y socialmente insostenible y –en consecuencia– inviable a largo plazo.¹³ Son necesarias normativas medioambientales más estrictas, mejores prácticas comerciales y tecnologías más eficaces, pero esto no será suficiente. Hace falta un cambio sistémico más profundo.

Este cambio sistémico más profundo ya está en marcha. En todo el mundo intelectuales, líderes sociales y militantes de base están formando organizaciones eficaces y alzan sus voces no tan sólo para exigir un «cambio de juego», sino también para sugerir medios concretos de conseguirlo.

GLOBALIZACIÓN DISEÑADA

Cualquier discusión realista sobre un cambio de juego deberá partir del reconocimiento de que, aunque la globalización sea un fenómeno emergente, la forma actual de globalización económica ha sido deliberadamente diseñada y *puede* ser rediseñada. Como hemos visto, la economía global actual está estructurada en torno a redes de flujos financieros en las que el capital trabaja en tiempo real y se desplaza rápidamente de una opción a otra en una búsqueda incesante de oportunidades de inversión.¹⁴ El «mercado global» es en realidad una red de máquinas, un autómatas que impone su lógica a todos los participantes humanos. Sin embargo, para que pueda funcionar adecuadamente, ese autómata tiene que ser programado por instituciones y actores humanos. Los programas que dan lugar a la nueva economía están formados por dos componentes fundamentales: valores y normas de funcionamiento.

Las redes financieras globales procesan señales que asignan un valor financiero específico a cada activo disponible en cada

economía. Este proceso dista mucho de ser directo, en la medida en que incluye cálculos basados en modelos matemáticos avanzados, información y opiniones suministrados por empresas de valoración, gurús financieros, ejecutivos de bancos centrales, otros analistas financieros influyentes y –en último lugar, aunque no por ello menos importante– turbulencias de información en gran medida incontroladas.¹⁵

En otras palabras, el valor financiero intercambiable de cualquier activo (sujeto a ajustes continuos) constituye una propiedad emergente de la dinámica altamente no lineal del autó-mata. Sin embargo, detrás de todas esas evaluaciones está el principio fundamental del capitalismo desbocado: la ganancia económica tiene que ser siempre valorada por encima de la democracia, de los derechos humanos, de la protección del medio ambiente y de cualquier otro valor. Cambiar de juego significa, sobre todo y ante todo, cambiar de principio fundamental.

Además de este complejo proceso de evaluación de los activos negociables, los programas de las redes financieras globales contienen normas operativas que deben ser seguidas por igual en todos los mercados financieros del mundo. Se trata de las reglas de libre comercio impuestas por la OMC a sus países miembros. Para garantizar la obtención de los márgenes de beneficio más elevados posible en el casino global, el capital debe tener las manos libres a fin de fluir libremente a través de sus redes financieras, de modo que pueda ser invertido en cualquier lugar del mundo con absoluta inmediatez. Estas reglas de libre comercio, junto con la creciente desregularización de las actividades de las corporaciones, están diseñadas para garantizar la más absoluta libertad de movimientos del capital. Los obstáculos a este comercio sin trabas, que van siendo recortados o eliminados por este nuevo marco legal, suelen ser normativas medioambientales, leyes de salud pública, leyes de seguridad alimentaria, derechos adquiridos de la clase trabajadora y normativas que permiten a los gobiernos mantener el control de las inversiones que se hacen en su territorio y la propiedad de su cultura local.¹⁶

La integración de actividades económicas resultante va mucho más allá de los aspectos puramente económicos: se extiende al ámbito cultural. Todos los países del mundo, a pesar de la diversidad de sus culturas, están cada vez más homogeneizados a causa de la incesante proliferación de las mismas franquicias de restaurantes, de las mismas cadenas hoteleras, de la misma arquitectura en altura, de los mismos hipermercados y de los mismos centros comerciales. El resultado de todo ello es, según la oportuna expresión de Vandana Shiva, el «monocultivo de la mente».

Las reglas económicas del capitalismo global son impuestas con firmeza y activamente promovidas por tres instituciones financieras cuya actividad tiene ámbito mundial: el BM, el FMI y la OMC. Se las conoce colectivamente con el nombre de instituciones de Bretton Woods, por haber sido constituidas en una conferencia de las Naciones Unidas que se celebró en 1944 en esa localidad de New Hampshire con el objetivo de crear un marco institucional que posibilitara en la posguerra una economía coherente en todo el mundo.

El BM fue creado originalmente para financiar la reconstrucción de Europa, devastada tras la Segunda Guerra Mundial. El FMI lo fue para garantizar la estabilidad del sistema financiero internacional. Sin embargo, ambas instituciones cambiaron bien pronto de orientación y se dedicaron a la promoción y aplicación forzada al Tercer Mundo de un reducido modelo de desarrollo económico, a menudo con efectos sociales y medioambientales catastróficos.¹⁷ El papel nominal de la OMC en el escenario económico mundial consiste en regular el comercio, prevenir guerras comerciales y proteger los intereses de los países pobres. En realidad, promueve y aplica a nivel planetario el mismo programa que el BM y el FMI han impuesto a la mayor parte del mundo en vías de desarrollo. En lugar de proteger la salud, la seguridad, los medios de vida de los pueblos y su cultura, las reglas de libre comercio de la OMC socavan esos derechos humanos básicos a cambio de la consolidación del poder y de la riqueza de una pequeña élite corporativa.

Las reglas de libre comercio son el resultado de muchos años de negociaciones a puerta cerrada, en las que estaban presentes grupos de presión del mundo de la industria, de los negocios y de las grandes corporaciones, pero de las que fueron sistemáticamente excluidas las ONG representantes de los intereses medioambientales, de la justicia social, de los derechos humanos y de la democracia. No resulta, pues, sorprendente que el movimiento global en contra de la OMC exija ahora una mayor transparencia en el establecimiento de las reglas de mercado, así como de las correspondientes consecuencias sociales y medioambientales. Una poderosa coalición de centenares de ONG está proponiendo una nueva serie de políticas comerciales que, de ser aplicadas, cambiarían radicalmente el juego financiero mundial.

Líderes comunitarios y movimientos de base de todo el mundo, científicos e incluso algunos de los especuladores financieros más exitosos comienzan a ponerse de acuerdo en que el capitalismo global necesita ser regulado y constreñido, así como en que sus flujos financieros deben ser organizados de acuerdo con otra serie de valores.¹⁸ En la reunión de 2001 del Foro Económico Mundial de Davos, el exclusivo club de los representantes de los grandes negocios, algunos de los participantes admitieron por primera vez que la globalización no tiene futuro, a menos que se rediseñe a fin de que sea aceptable para todo el mundo, ecológicamente sostenible y respetuosa con los derechos y los valores humanos.¹⁹

Por supuesto, entre formular declaraciones políticamente correctas y cambiar de veras el comportamiento corporativo media un abismo, pero ponerse de acuerdo sobre los valores básicos necesarios para remodelar la globalización económica sería, sin duda, un primer paso fundamental. ¿Cuáles son esos valores básicos? O, reiterando el planteamiento de Václav Havel al respecto, ¿cuáles son las dimensiones éticas de la globalización?²⁰

La ética se refiere a unas normas de conducta humana que se originan a partir de un sentido de pertenencia. Cuando pertenecemos a una comunidad, nos comportamos según sus normas.²¹

En el contexto de la globalización, las comunidades más relevantes a las que pertenecemos son dos. Todos somos miembros de la humanidad y todos formamos parte de la biosfera planetaria. Somos todos miembros de un *oikos*—raíz griega del término «ecología»—, de un mismo «hogar Tierra», y como tales deberíamos comportarnos igual que los demás miembros de ese hogar—plantas, animales y microorganismos— que conforman la vasta red de relaciones que denominamos trama de la vida.

Esta red global viva ha estado desarrollándose, evolucionando y diversificándose a lo largo de tres mil millones de años, sin romperse jamás. La característica más sobresaliente del hogar Tierra consiste en su capacidad innata para sostener la vida. Como miembros de la comunidad planetaria de seres vivos, nos corresponde comportarnos de tal modo que no perturbemos esa capacidad innata: éste es el significado de la sostenibilidad ecológica. Lo que es sostenido en una comunidad sostenible no es su crecimiento económico ni su desarrollo, sino toda la trama de la vida, de la que depende nuestra supervivencia a largo plazo. Una comunidad respetuosa con esa trama está diseñada de modo que sus formas de vida, de negocios, de economía, de estructuras físicas y de tecnologías no perturben la capacidad innata de la naturaleza para sostener la vida.

Como miembros de la comunidad humana, nuestro comportamiento debería reflejar el respeto más absoluto por la dignidad humana y por los derechos humanos fundamentales. Puesto que la vida humana incluye dimensiones biológicas, cognitivas y sociales, los derechos humanos deberían ser respetados en cada una de esas tres dimensiones. La dimensión biológica incluye el derecho a un medio ambiente saludable, así como a la seguridad alimentaria en sus aspectos de salubridad y garantía de abastecimiento. Honrar la integridad de la vida implica también el rechazo al patentado de cualquier forma de vida. En la dimensión cognitiva los derechos humanos incluyen el acceso a la educación y al conocimiento, así como la libertad de opinión y de expresión. Finalmente, en la dimensión social el primer derecho humano—citando literalmente la Declaración de Dere-

chos Humanos de las Naciones Unidas— consiste en «el derecho a la vida, a la libertad y a la seguridad de la persona». Esta dimensión social abarca gran número de derechos humanos, desde la justicia social al derecho de reunión pacífica, a la integridad cultural y a la autodeterminación.

Para combinar el respeto a esos derechos humanos con la ética de la sostenibilidad ecológica necesitaremos comprender que, tanto en lo referente a los ecosistemas como a las sociedades humanas, la sostenibilidad no es una propiedad individual, sino de una red completa de relaciones que implica a la comunidad como un todo. Una comunidad humana sostenible interactúa con otros sistemas vivos —humanos y no humanos— de tal modo que les permite vivir y desarrollarse según su propia naturaleza. En el ámbito humano la sostenibilidad es plenamente consistente con el derecho fundamental de las comunidades a la autodeterminación y la autoorganización.

LA COALICIÓN DE SEATTLE

Los valores de la dignidad humana y de la sostenibilidad ecológica aquí reseñados constituyen la base ética para remodelar la globalización, en torno a la cual se ha formado una impresionante coalición global de ONG. Su número se ha incrementado espectacularmente en las últimas décadas, desde unos pocos centenares en los años sesenta hasta más de veinte mil a finales del siglo XX.²² Durante los noventa, surgió del seno de esas ONG una élite experta en informática que comenzó a utilizar de forma muy habilidosa las nuevas tecnologías de comunicación, particularmente Internet, para comunicarse en red entre sí, intercambiar información y movilizar a sus miembros.

Este trabajo en red se intensificó notablemente con ocasión de la preparación de acciones conjuntas ante la reunión de la OMC en Seattle en noviembre de 1999. Durante muchos meses centenares de ONG se interconectaron electrónicamente para coordinar sus planes y producir un alud de panfletos, de-

claraciones de principios, notas de prensa y libros, en los que exponían claramente su oposición a los dictados y a las prácticas antidemocráticas de la OMC.²³ Estas tomas de posición fueron prácticamente ignoradas por la OMC, pero tuvieron, en cambio, un efecto notable en la opinión pública. La campaña educativa de las ONG culminó en una asamblea de dos días en Seattle, justo antes del encuentro de la OMC, organizada por el Foro Internacional sobre la Globalización, a la que asistieron más de dos mil quinientas personas de todo el mundo.²⁴

El 30 de noviembre de 1999 unas cincuenta mil personas, pertenecientes a más de setecientas organizaciones, tomaron parte en una manifestación muy bien coordinada, apasionada y prácticamente no violenta, que cambiaría para siempre el escenario político de la globalización. Como relata Paul Hawken, medioambientalista y escritor que participó en la protesta de Seattle:

No había líderes carismáticos. Ningún personaje religioso intervino en ninguna acción directa. No había grupos que buscaran protagonismo. La Ruckus Society, la Rainforest Action Network, Global Exchange y centenares de organizaciones más estaban allí, coordinándose básicamente a través de teléfonos móviles, correos electrónicos y la Direct Action Network...

Estaban organizadas, preparadas y determinadas. Se trataba de grupos de militantes en pro de los derechos humanos, de sindicalistas, de pueblos indígenas, de asociaciones religiosas, de trabajadores del acero, de granjeros, de defensores de los bosques, de medioambientalistas, de trabajadores sociales, de estudiantes, de profesores [...] Todos ellos hablaban en defensa de un mundo al que la globalización no ha mejorado en nada.²⁵

La policía de Seattle respondió con dureza para tratar de mantener a los manifestantes alejados del Centro de Convenciones, donde debía tener lugar el encuentro de la OMC, pero no estaba preparada para las acciones callejeras de una red masiva y bien organizada, totalmente entregada a impedir el en-

cuentro. El resultado fue el caos: centenares de delegados quedaron bloqueados en las calles o encerrados en sus hoteles y la ceremonia inaugural tuvo que ser cancelada.

La frustración de políticos y delegados fue creciendo a medida que el día avanzaba. A última hora de la tarde del primer día, el alcalde y el jefe de policía declararon el estado de excepción; el segundo día la policía pareció perder por completo el control, pues atacó brutalmente no tan sólo a manifestantes, sino también a transeúntes y mirones. Michael Meacher, ministro de Medio Ambiente del Reino Unido, declaró después: «No contábamos con la policía de Seattle, que se bastó ella sola para convertir una protesta pacífica en una revuelta.»²⁶

Entre los cincuenta mil manifestantes había tal vez un centenar de anarquistas que habían acudido con el propósito de romper escaparates y destruir mobiliario urbano. Podían haber sido fácilmente arrestados, pero la policía de Seattle optó por no hacerlo, y los medios de comunicación prefirieron dedicar su atención a las acciones destructivas de ese grupo minúsculo —una fracción del uno por ciento— en lugar de prestarla al mensaje constructivo de la inmensa mayoría de manifestantes no violentos.

Al final, el encuentro de la OMC fracasó no sólo a causa de esas manifestaciones masivas, sino también —e incluso es probable que sobre todo— por el modo como los principales grupos de poder de la OMC trataron de imponerse a los delegados de los países del Sur.²⁷ Tras ignorar docenas de propuestas presentadas por países en desarrollo, los líderes de la OMC excluyeron a los delegados de esos países de las reuniones críticas mantenidas en la trastienda de la «Sala Verde» y trataron luego de persuadirlos para que firmaran un acuerdo negociado en secreto. Indignados, muchos de los representantes de los países en vías de desarrollo rehusaron hacerlo y abandonaron las reuniones para unirse a la oposición masiva al régimen antidemocrático de la OMC que estaba teniendo lugar más allá de las paredes del Centro de Convenciones.

Enfrentados a la perspectiva de un rechazo de las delegaciones de esos países en la sesión final, los poderes fácticos de la

OMC prefirieron dejar que la reunión de Seattle terminara en fracaso total, sin tratar siquiera de presentar una declaración final. Seattle, que en principio tenía que haber presenciado la celebración de la consolidación mundial de la OMC, se convertía en lugar de ello en el símbolo de la resistencia globalizada.

Después de Seattle tuvieron lugar otras manifestaciones, menos importantes, pero igualmente eficaces, en Washington, Praga y Quebec, pero Seattle fue, sin duda, el punto crucial en la formación de una coalición global de ONG. A finales de 2000 más de siete mil organizaciones de setenta y nueve países distintos se habían unido a lo que se llamaba ya oficialmente la Coalición de Seattle y comenzaban a preparar una campaña mundial «para el derrocamiento de la OMC».²⁸ Naturalmente, existe gran diversidad de intereses entre estas ONG, que van desde organizaciones laborales a organizaciones de defensa de los derechos humanos, de los derechos de la mujer, religiosas, medioambientales o de pueblos indígenas. Sin embargo, existe un notable acuerdo entre ellas acerca de los valores fundamentales de dignidad humana y sostenibilidad ecológica.

En enero de 2001 la Coalición de Seattle celebró el primer Foro Social Mundial en Porto Alegre, Brasil. Diseñado como contrapunto al Foro Económico Mundial de Davos, Suiza, se hizo coincidir las fechas de ambos, aunque se reunió en el hemisferio sur. El contraste entre ambos acontecimientos fue impresionante. En Suiza una reducida élite de líderes de los negocios, mayoritariamente hombres y blancos, se reunía en la más estricta reclusión, protegida de los manifestantes por un masivo contingente del ejército suizo. En el Brasil, mientras tanto, doce mil personas de todas las razas se encontraban abiertamente en grandes salas de reuniones y eran calurosamente recibidos por la ciudad de Porto Alegre y por el estado de Rio Grande do Sul.

Por primera vez la Coalición de Seattle había convocado a sus miembros no para protestar, sino para dar el siguiente paso y debatir sobre escenarios alternativos, de acuerdo con el lema oficial del Foro: «Otro mundo es posible.» Como informó *The Guardian*: «Estaba presente un sentimiento tangible de emer-

gencia global de un movimiento compuesto por una asombrosa diversidad de edades, tradiciones políticas, experiencia práctica y circunstancias culturales.»²⁹

UNA NUEVA SOCIEDAD CIVIL GLOBAL

La Coalición de Seattle ejemplifica una nueva clase de movimiento político que es típico de nuestra Era de la Información. El uso ingenioso de la interactividad de Internet, su inmediatez y su alcance planetario permiten que las ONG de la Coalición puedan comunicarse en red entre sí, compartir información y movilizar a sus miembros con una rapidez sin precedentes. Como resultado de ello las nuevas ONG globales han emergido como agentes políticos efectivos, totalmente independientes de las instituciones nacionales e internacionales tradicionales.

Como ya hemos visto, la emergencia de la sociedad en red ha ido paralela al declive de la soberanía, de la autoridad y de la legitimación de la nación-estado.³⁰ Al mismo tiempo, las principales religiones no han sabido desarrollar una ética adecuada a la era de la globalización, mientras que la legitimación de la tradicional familia patriarcal es cuestionada por profundas redefiniciones de la familia, la sexualidad y las relaciones entre los sexos. Es decir, se vienen abajo las principales instituciones de la sociedad civil tradicional.

Esta sociedad civil es definida tradicionalmente como un conjunto de organizaciones e instituciones —iglesias, partidos políticos, sindicatos, cooperativas y voluntariados diversos— que constituyen la interfaz entre el estado y su ciudadanía. Las instituciones de la sociedad civil representan los intereses de las personas y constituyen los canales políticos que las conectan al estado. Según el sociólogo Manuel Castells, en la sociedad en red el cambio social no se origina dentro de las instituciones tradicionales de la sociedad civil, sino que se desarrolla a partir de identidades que se basan en el rechazo de los valores dominantes de esa sociedad: patriarcado, dominación y control de la naturale-

za, crecimiento económico y consumo material sin límites, etcétera.³¹ La oposición a esos valores originó los poderosos movimientos sociales que sacudieron el mundo industrializado en los sesenta.³² Con el tiempo, surgiría de ellos una visión alternativa, basada en el respeto por la dignidad humana, en la ética de la sostenibilidad y en una visión ecológica del mundo. Esta nueva visión constituye el núcleo de la coalición global de movimientos de base de nuestros días.

Una nueva sociedad civil, organizada en torno a la remodelación de la globalización, está emergiendo gradualmente. No se define a sí misma en referencia al estado, sino que su ámbito de acción y su organización son globales. Se manifiesta físicamente en forma de ONG —como Oxfam, Greenpeace, Red Tercer Mundo o Rainforest Action Network—, así como de coaliciones de centenares de organizaciones menores, todas las cuales se han convertido en actores sociales de un nuevo movimiento político.

Como señalan los politólogos Craig Warkentin y Karen Mingst, la nueva sociedad civil se caracteriza por el desprestigio de las instituciones formales y el énfasis en las relaciones sociales y políticas entre sus agentes.³³ Estas relaciones se estructuran en torno a dos clases diferentes de redes. Por un lado, las ONG se apoyan en organizaciones de base (es decir, redes humanas vivas), y, por otro, aprovechan las nuevas tecnologías de comunicación (es decir, redes electrónicas). Internet, en particular, se ha convertido en su instrumento político más eficaz. Al establecer esta novedosa relación entre redes humanas y redes electrónicas, la nueva sociedad civil global ha remodelado el panorama político. Para ilustrar este fenómeno, Warkentin y Mingst han estudiado la campaña contra el AMI llevada a cabo con éxito por la Coalición de Seattle.

El AMI (Acuerdo Multilateral sobre Inversiones), negociado por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), trataba de convertirse en un instrumento legal que habría creado unas condiciones sin precedentes para la protección de las inversiones extranjeras, en particular en los países en vías de desarrollo. Sus provisiones reducían enorme-

mente el poder de los gobiernos locales para regular las actividades de inversores extranjeros al limitar, por ejemplo, las restricciones a la propiedad foránea de bienes inmobiliarios, e incluso de industrias domésticas estratégicas. En otras palabras, la soberanía de las naciones pasaba a supeditarse a los derechos de las grandes corporaciones.

Las negociaciones comenzaron en 1995, dirigidas por la OCDE a puerta cerrada, ocultas al escrutinio público, y duraron más de dos años. Pero en 1997 fue filtrado un primer borrador a Public Citizen, grupo activista fundado por Ralph Nader, que inmediatamente lo difundió por Internet. Tan pronto como ese documento de trabajo comenzó a circular por la red (dos años antes de Seattle), más de seiscientos organizaciones de setenta países distintos expresaron vehementemente su rechazo al tratado. Oxfam, en particular, criticó la falta de transparencia del proceso de negociación, la exclusión de los países en vías de desarrollo de las negociaciones (a pesar de que iban a ser los más directamente afectados por el tratado) y la ausencia de estudios independientes sobre las implicaciones sociales y medioambientales del mismo.

Acto seguido las ONG participantes en la campaña publicaron el borrador del AMI en sus respectivas páginas electrónicas, junto con sus propios análisis, listados de datos y llamamientos a la acción (incluyendo el envío masivo de cartas de protesta y manifestaciones varios). Esas informaciones fueron apareciendo en páginas electrónicas extensivamente interconectadas con otras. Al final, la OCDE se vio obligada a poner en la red su propia página electrónica sobre el AMI, en un esfuerzo, en gran medida inútil, por contrarrestar la vigorosa campaña electrónica en contra del acuerdo.

Los delegados participantes en las negociaciones tenían la intención de completar el acuerdo en mayo de 1997, pero, al encontrarse con una oposición mundial tan bien organizada, la OCDE estableció un «período de evaluación» de seis meses y pospuso en un año el plazo límite para completar el acuerdo. Cuando se reanudaron las negociaciones, en octubre de 1997,

las posibilidades de completar el acuerdo con éxito habían disminuido drásticamente. Dos meses después la OCDE anunciaba la suspensión permanente de las conversaciones sobre el AMI. La delegación francesa, una de las primeras en retirar su apoyo al tratado, reconoció explícitamente el papel decisivo que la nueva sociedad civil había tenido en el proceso: «El AMI [...] señala [una etapa] importante en las negociaciones [...] internacionales. Por primera vez somos testigos de la emergencia de una "sociedad civil global" representada por organizaciones no gubernamentales, frecuentemente activas en varios países a la vez y que se comunican por encima de las fronteras. Se trata, sin duda, de un cambio irreversible.»³⁴

Warkentin y Mingst subrayan, en su análisis, que uno de los principales logros de las ONG consistió en haber sabido encuadrar adecuadamente el debate público sobre el AMI. Mientras que el tratado era discutido por los delegados de la OCDE en términos financieros y económicos, las ONG utilizaron un lenguaje que subrayaba los valores subyacentes tras él. Con ello introducían una amplia perspectiva sistémica, al mismo tiempo que adoptaban un discurso mucho más directo, franco y lleno de emotividad.³⁵ Se trata de algo típico de la nueva sociedad civil, que no tan sólo utiliza las redes globales de comunicaciones, sino que está enraizada en comunidades locales que derivan sus respectivas identidades de un conjunto de valores compartidos.

Este análisis es coherente con la afirmación de Manuel Castells de que, en la sociedad en red, el poder político deriva de la capacidad para utilizar con eficacia símbolos y códigos culturales, para encuadrar de la manera adecuada el discurso político.³⁶ Ahí reside, precisamente, la potencia de las ONG en la sociedad civil global. Pueden plantear cuestiones críticas en un lenguaje que tiene sentido para la gente y que conecta emocionalmente con ella, y promocionar así una política «más "centrada en las personas" y unos procesos políticos [más] democráticos y participativos».³⁷ Como concluye Castells, la nueva política «será una política cultural que [...] tendrá lugar pre-

ferentemente en el espacio mediático y utilizará símbolos en su lucha, pero que estará, sin embargo, conectada a valores y cuestiones que forman parte de la experiencia vital de la gente».³⁸

Para situar el discurso político dentro de una perspectiva sistémica y ecológica, la sociedad civil global se apoya en una red de intelectuales, institutos de investigación, bancos de pensadores y centros de aprendizaje, que operan en gran medida al margen de las principales instituciones académicas, de las organizaciones empresariales y de las agencias gubernamentales. Su característica común consiste en la prosecución de sus investigaciones y de sus enseñanzas en el seno de un marco explícito de valores esenciales compartidos.

Existen hoy en el mundo docenas de instituciones de esas características. Tal vez las más conocidas en los Estados Unidos sean el Worldwatch Institute, el Rocky Mountain Institute, el Institute for Policy Studies, el International Forum on Globalization, el Global Trade Watch, la Foundation on Economic Trends, el Institute for Food and Development Policy, el Land Institute y el Center for Ecoliteracy. En el Reino Unido, el Schumacher College; en Alemania, el Wuppertal Institute für Klima, Umwelt und Energie; en el Japón, África y Latinoamérica, Zero Emissions Research and Initiatives, y en la India, la Research Foundation for Science, Technology and Ecology. Todas ellas tienen sus páginas electrónicas y están interconectadas entre sí y con las ONG más orientadas a la acción, a las que proporcionan los recursos intelectuales necesarios.

La mayor parte de esas instituciones son comunidades de intelectuales y militantes implicadas en gran variedad de proyectos y campañas, desde la reforma electoral a las relaciones entre los sexos, el Protocolo de Kioto sobre el calentamiento global, la biotecnología, las energías renovables, el patentado de fármacos, etcétera. Entre todas estas cuestiones cabe destacar tres grandes grupos que parecen estar en el punto de mira de las coaliciones de base más grandes y activas: el desafío de remodelar las reglas y las instituciones que gobiernan la globaliza-

ción, la oposición a los alimentos GM y la promoción de una agricultura sostenible, y el ecodiseño, en un esfuerzo concertado para rediseñar nuestras estructuras físicas, nuestras ciudades, nuestras tecnologías y nuestras industrias, para hacerlas ecológicamente sostenibles.

Esos tres grandes grupos de puntos de interés están interrelacionados. Prohibir el patentado de cualquier forma de vida, rechazar los alimentos GM y promocionar la agricultura sostenible son, por ejemplo, cuestiones importantes para la reformulación de la globalización. Se trata de estrategias esenciales para el avance hacia la sostenibilidad ecológica, íntimamente relacionadas, por consiguiente, con el campo más amplio del ecodiseño. Esos vínculos conceptuales implican que muchas acciones coordinadas entre ONG se ocupen de diversas partes de esos tres grandes grupos de interés, o que esas organizaciones las incluyan en sus propios proyectos.

REMODELAR LA GLOBALIZACIÓN

Incluso antes del encuentro de Seattle de noviembre de 1999, las principales ONG de la Coalición de Seattle habían constituido un Grupo de Estudio de Alternativas (GEA) bajo el liderazgo del Foro Internacional sobre la Globalización (FIG), con el objetivo de sintetizar las ideas clave sobre alternativas al modelo de globalización económica vigente. Además del FIG, el GEA incluía el Institute for Policy Studies (Estados Unidos), el Global Trade Watch (Estados Unidos), el Council of Canadians (Canadá), el Focus on the Global South (Tailandia y Filipinas), la Third World Network (Malasia) y la Research Foundation for Science, Technology and Ecology (India).

Tras más de dos años de reuniones, el GEA redactó un borrador de informe interino, titulado «Alternatives to Economic Globalization», constantemente enriquecido por comentarios y sugerencias de intelectuales y militantes de todo el mundo, particularmente después del Foro Social Mundial de Porto Alegre.

El GEA tenía previsto publicar su informe en enero de 2002 e iniciar entonces un período de dos años destinado a perfeccionarlo mediante diálogos y reuniones de trabajo con militantes de base de todo el mundo. El informe definitivo será publicado en el año 2003.³⁹

La síntesis del FIG sobre alternativas a la globalización económica contrasta los valores y principios de organización del Consenso de Washington con un conjunto de principios y valores alternativos, que incluyen la sustitución de los gobiernos al servicio de las corporaciones por otros que sirvan a la ciudadanía y a las comunidades, la creación de nuevas normas y estructuras que favorezcan lo local y que sigan el principio de subsidiariedad («Siempre que el poder pueda residir a nivel local, residirá en ese nivel»), el respeto a la diversidad y a la integridad culturales, un fuerte énfasis en la seguridad alimentaria (el derecho a alimentos sanos y seguros) y diversas cuestiones primordiales relacionadas con los derechos humanos sociales, laborales y otros.

El informe sobre alternativas deja claro que la Coalición de Seattle no se opone al comercio y a las inversiones globales, a condición de que contribuyan a la construcción de comunidades saludables, respetadas y sostenibles. Sin embargo, subraya que las prácticas recientes del capitalismo global han demostrado la necesidad de un conjunto de reglas que dejen claro que ciertos bienes y servicios no pueden ser convertidos en mercancías, patentados, vendidos, comprados o sujetos a acuerdos comerciales.

En adición a las normas de esta índole ya existentes, que incluyen especies en peligro de extinción o mercancías perjudiciales para el entorno o para la salud y la seguridad humanas (residuos tóxicos, tecnología nuclear, armas, etcétera), las nuevas normas se ocuparían también de los bienes y servicios que pertenecen a la comunidad global, es decir que forman parte de los elementos de construcción de la vida o de la herencia común de la humanidad, incluyendo el agua potable, que no debería ser objeto de comercio, sino libremente accesible a quien la necesite, semillas, plantas y animales objeto de intercambio en las comunidades agrícolas tradicionales, que no podrían ser

patentados para beneficio privado, y las secuencias de ADN, que no podrían ser ni patentadas ni comercializadas.

Los autores del informe reconocen que esas cuestiones son, probablemente, las más arduas, pero que constituyen también la parte más importante del debate sobre la globalización. Su principal preocupación consiste en cambiar el curso de una marea de comercio global para la cual todo está en venta, incluso nuestra herencia genética o el acceso a semillas, alimentos, agua y aire, elementos de vida antaño considerados sagrados.

Además de los debates sobre valores y principios alternativos, la síntesis del FIG incluye propuestas concretas y radicales para la reestructuración de las instituciones de Bretton Woods. La mayoría de las ONG de la Coalición de Seattle opinan que reformar la OMC, el BM y el FMI no constituye una estrategia viable, puesto que las estructuras, las normas, los propósitos y los procesos operativos de esas instituciones están fundamentalmente enfrentados a los valores cruciales de dignidad humana y sostenibilidad ecológica. En su lugar esas ONG proponen un proceso de reestructuración en cuatro fases: desmantelamiento de las instituciones de Bretton Woods, creación de un gobierno global en el seno de una Organización de las Naciones Unidas reformada, reforzar determinadas organizaciones ya existentes y crear cierto número de nuevas organizaciones en la ONU, que ocuparían los huecos dejados por las instituciones de Bretton Woods.

El informe señala que, en la actualidad, están vigentes dos grandes grupos notablemente dispares de instituciones de gobierno planetario: la tríada de Bretton Woods y la ONU. Las instituciones de Bretton Woods se han mostrado más eficaces en la implementación de programas bien definidos, pero éstos han sido impuestos a la humanidad por medios coercitivos y antidemocráticos, y han demostrado ser en gran medida destructivos. La ONU, en cambio, ha sido menos eficaz, pero su ámbito es mucho más amplio, sus procesos de toma de decisiones son más abiertos y democráticos y sus programas dan mucha más importancia a las prioridades sociales y medioambientales. Las ONG afirman que limitar los poderes del FMI, del BM y de la OMC

dejaría el espacio necesario para que una ONU reformada pudiera cumplir con las funciones para las que fue creada.

La Coalición de Seattle propone que debería rechazarse firmemente cualquier plan de una nueva ronda de negociaciones de la OMC, o cualquier expansión de sus poderes o del número de sus miembros. En lugar de ello, el poder de la OMC debería ser eliminado o radicalmente reducido, hasta convertirla en una más de las numerosas organizaciones internacionales de un mundo plural con múltiples intereses y equilibrios. Como expresa la campaña lanzada por Global Trade Watch, «WTO: Shrink or Sink it» («OMC: encógela o húndela»).

Por lo que se refiere al BM y al FMI, la Coalición de Seattle opina que estas instituciones son las máximas responsables de la losa impuesta sobre el Tercer Mundo con una deuda externa impagable, así como con la implantación forzada de un concepto desviado de desarrollo de consecuencias sociales y medioambientales catastróficas. Tomando prestada una frase relativa a las centrales nucleares obsoletas, el informe sugiere que ha llegado la hora de «desmantelar» el BM y el FMI.

Para llevar a cabo los propósitos originales de las instituciones de Bretton Woods, el informe sobre alternativas propone potenciar la actividad y los recursos de organizaciones ya existentes en el seno de la ONU, como la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Sus autores creen que, en lugar de colocar las normas de salud, trabajo y medio ambiente bajo la égida de una OMC guiada por criterios mercantilistas, deberían ser puestos bajo la tutela de las autoridades de las agencias de la ONU y tener prioridad sobre la expansión del comercio. Desde el punto de vista de la Coalición de Seattle, la salud pública, los derechos de los trabajadores y la protección del medio ambiente son fines en sí mismos, mientras que el comercio y las inversiones internacionales no son más que medios.

El informe sobre alternativas apoya asimismo la creación de un número reducido de nuevas instituciones globales bajo la auto-

ridad y control de la ONU. Entre ellas se incluirían un Tribunal Internacional de Insolvencia (TII), que supervisaría la cancelación de la deuda externa y que comenzaría a ser operativo a medida que el BM y los bancos de desarrollo fueran siendo desmantelados, una Organización Internacional de Finanzas (OIF), que reemplazaría al FMI y trabajaría con los países miembros de la ONU para alcanzar y mantener el equilibrio en las relaciones financieras internacionales, y una Organización para la Responsabilidad Corporativa (ORC), organizada y dirigida por la ONU. La función primordial de la ORC consistiría en proporcionar a los gobiernos y al público en general una información completa y solvente sobre las prácticas de las corporaciones, como apoyo en las negociaciones sobre acuerdos bilaterales y multilaterales relevantes, así como de boicots de inversores y consumidores.

El objetivo principal de todas esas propuestas consiste en la descentralización del poder de las instituciones globales, en favor de un sistema pluralista de organizaciones regionales e internacionales, cada una de las cuales estaría controlada por otras organizaciones, por otros acuerdos y por agrupaciones regionales. Parece que un sistema de gobierno global de esas características, mucho menos estructurado y más fluido, estaría más en consonancia con el mundo actual, en el que las corporaciones son redes cada vez más organizadas y descentralizadas, mientras que la autoridad política se va inclinando hacia niveles regionales y locales, en la medida en que las naciones-estado se convierten en estados red.⁴⁰

Como conclusión, el informe sobre alternativas subraya que sus propuestas podían parecer poco realistas hace sólo unos años, pero que el panorama político ha cambiado espectacularmente desde Seattle. Las instituciones de Bretton Woods están inmersas en una profunda crisis de legitimidad, por lo que podría suceder que emergiera una nueva alianza entre países del Sur (los denominados «G-77»), políticos favorables del Norte y la nueva sociedad civil global, con suficiente fuerza para realizar reformas institucionales renovadoras y remodelar la globalización.

A diferencia de las protestas en contra de la globalización económica, la resistencia frente a los alimentos GM no comenzó con una campaña de concienciación pública, sino que se inició a principios de los noventa con manifestaciones ampliamente extendidas de agricultores tradicionales en la India, seguidas por boicots de consumo en Europa, todo ello combinado con un espectacular renacimiento de la agricultura ecológica. En palabras del escritor y militante en pro de la salud ambiental John Robbins: «En todo el mundo la gente exigía a sus gobiernos que protegieran el bienestar humano y el medio ambiente, en lugar de situar los beneficios empresariales por delante de la salud pública. Por todas partes la gente insistía en una sociedad que regenere la Tierra, no que la destruya.»⁴¹

A los boicots y las manifestaciones en contra de varias corporaciones biotécnicas y agroquímicas siguió bien pronto documentación exhaustiva acerca de las prácticas habituales de esas industrias, puesta en circulación por las principales ONG de los movimientos por la ecología y la salud ambiental.⁴²

En su libro *The Food Revolution*, ampliamente documentado, John Robbins da cumplida cuenta de la revuelta ciudadana en contra de los alimentos GM, que se extendió rápidamente desde Europa hacia el resto del mundo.⁴³ En 1998 ciudadanos y agricultores indignados destruían plantaciones transgénicas en Gran Bretaña, Irlanda, Francia, Alemania, los Países Bajos y Grecia, así como en los Estados Unidos, la India, el Brasil, Australia y Nueva Zelanda. Al mismo tiempo, movimientos de base de todo el mundo organizaban peticiones masivas a sus respectivos gobiernos. En Austria, por ejemplo, más de un millón de ciudadanos, lo cual significa un veinte por ciento del electorado, firmaban una petición para prohibir los alimentos GM. En los Estados Unidos una petición de etiquetado obligatorio de alimentos transgénicos fue suscrita por medio millón de personas y presentada al Congreso. Innumerables organizaciones de todo el mundo, incluyendo la British Medical Association, cla-

maron por la prohibición temporal del uso de semillas que contuvieran organismos genéticamente modificados (OGM).

Los gobiernos no tardaron en responder a esas masivas expresiones de la opinión popular. El gobernador del estado de Rio Grande do Sul, principal productor de soja del Brasil y anfitrión en Porto Alegre del Foro Social Mundial, declaró formalmente a su estado libre de OGM. Los gobiernos de Francia, Italia, Grecia y Dinamarca anunciaron que bloquearían cualquier aprobación de nuevos OGM por parte de la Unión Europea. La Comisión Europea declaró obligatorio el etiquetado de alimentos GM, al igual que los gobiernos del Japón, Corea del Sur, Australia y México. En enero de 2000 ciento treinta países firmaban en Montreal, con la más vehemente oposición por parte de los Estados Unidos, el drástico Protocolo de Cartagena, que confiere a las naciones el derecho a prohibir la entrada en su territorio de cualquier forma de vida genéticamente modificada.

La respuesta de la comunidad corporativa a la masiva insurrección ciudadana en contra de la alimentación transgénica no fue menos decisiva. Fabricantes de alimentos, restaurantes y fabricantes de bebidas de todo el mundo tardaron bien poco en declarar públicamente que iban a eliminar cualquier componente GM de sus productos. En 1999 las siete mayores cadenas de alimentación de seis países europeos hacían público su compromiso de quedarse «libres de OGM», y poco después siguieron su ejemplo los gigantes Unilever (que se había destacado como uno de los más fervorosos adalides de los alimentos transgénicos), Nestlé y Cadbury-Schweppes.

Al mismo tiempo Kirin y Sapporo, las dos mayores cerveceras de Japón, anunciaban que no iban a utilizar cereales genéticamente modificados en la producción de sus cervezas. Poco después las cadenas de comida rápida McDonald's y Burger King anunciaban a sus proveedores que no iban a aceptar más patatas transgénicas. Las patatas GM fueron también proscritas por la mayoría de los fabricantes de patatas chips, mientras que Frito-Lay ordenaba a sus proveedores que dejaran de suministrarle maíz transgénico.

A medida que la industria alimentaria iba volviéndoles la espalda a los componentes transgénicos y la superficie de plantaciones GM disminuía en consecuencia y se invertía su crecimiento explosivo de los años anteriores, los analistas financieros comenzaron, naturalmente, a advertir a los inversores de los riesgos financieros de la biotecnología alimentaria. En 1999 el Deutsche Bank, a la sazón el mayor banco de Europa, declaraba categóricamente: «Los OGM están muertos», al mismo tiempo que recomendaba a sus clientes que se deshicieran cuanto antes de todas sus inversiones en empresas de biotecnología.⁴⁴ Un año más tarde *The Wall Street Journal* llegaba a la misma conclusión: «Con la controversia sobre los alimentos genéticamente modificados extendiéndose rápidamente por todo el mundo, y pasando factura a las acciones de las empresas con negocios en el sector de la biotecnología agrícola, es difícil poder considerar estas empresas como una buena inversión, ni siquiera a largo plazo.»⁴⁵ Estos acontecimientos recientes demuestran bien a las claras que los movimientos de base de nuestros días tienen poder y capacidad para cambiar no tan sólo el clima político internacional, sino también el juego del mercado global, y reorienta sus flujos financieros según unos valores distintos.

ECOALFABETIZACIÓN Y ECODISEÑO

La sostenibilidad constituye un componente esencial de los valores centrales que conforman la base sobre la que remodelar la globalización. Por consiguiente, muchas de las ONG, de los institutos de investigación y de los centros de aprendizaje de la nueva sociedad civil global han elegido la sostenibilidad como su centro explícito de atención. De hecho, crear comunidades sostenibles constituye el gran reto de nuestros días.

El concepto de sostenibilidad fue introducido a principios de los ochenta por Lester Brown, fundador del Worldwatch Institute, al definir una sociedad sostenible como aquella que fuera capaz de satisfacer sus necesidades sin comprometer las

oportunidades de las generaciones venideras.⁴⁶ Varios años después, el informe de la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (más conocido como Informe Brundtland) utilizaba la misma definición para formular el concepto de «desarrollo sostenible»: «La humanidad tiene la capacidad para alcanzar un desarrollo sostenible, la capacidad para satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones venideras para satisfacer sus propias necesidades.»⁴⁷ Ambas definiciones de sostenibilidad constituyen exhortaciones morales importantes, en la medida en que nos recuerdan la responsabilidad de transmitir a nuestros descendientes un mundo con, al menos, tantas oportunidades como las que nosotros hemos tenido. Sin embargo, ninguna de las dos nos dice cómo construir una sociedad sostenible. Ésta es la razón por la que ha habido mucha confusión en torno al significado de sostenibilidad, incluso dentro del movimiento medioambientalista.

La clave para una definición operativa de la sostenibilidad ecológica consiste en la constatación de que no hace falta inventar comunidades humanas sostenibles partiendo de cero, sino que para ello podemos utilizar como modelo los ecosistemas de la naturaleza, que son comunidades sostenibles de plantas, animales y microorganismos. Puesto que la característica más notable de nuestro hogar Tierra es su capacidad innata para sostener la vida,⁴⁸ una comunidad humana sostenible estará diseñada de tal modo que sus formas de vida, de negocios, de economía, de estructuras físicas y de tecnologías no interfieran con esa capacidad innata de la naturaleza para sustentar la vida. Las formas de vida de las comunidades sostenibles evolucionan con el tiempo en continua interacción con otros sistemas vivos, tanto humanos como no humanos. Sostenibilidad no significa que las cosas no cambien: más que un estado estático, implica un proceso dinámico de coevolución.

La definición operativa de sostenibilidad implica que el primer paso para construir comunidades sostenibles tiene que con-

sistir en «alfabetizarnos ecológicamente», es decir, dotarnos de la capacidad para comprender los principios de organización comunes a todos los sistemas vivos, para entender que los ecosistemas han ido evolucionando desde el principio para sustentar la vida.⁴⁹ Como hemos visto a lo largo de la presente obra, los sistemas vivos son redes autogenéticas, organizativamente cerradas dentro de perímetros, pero funcionalmente abiertas a flujos constantes de materia y energía. Esta comprensión sistémica de la vida nos permite formular una serie de principios de organización, que pueden ser identificados como los principios fundamentales de la ecología y que pueden ser utilizados como líneas maestras para la construcción de comunidades humanas sostenibles. Específicamente, hay seis principios de ecología que son cruciales para el sostenimiento de la vida: redes, ciclos, energía solar, asociación, diversidad y equilibrio dinámico (ver tabla en la página 294).

Esos principios están directamente relacionados con nuestra salud y con nuestro bienestar. Debido a nuestra necesidad vital de respirar, beber y comer, estamos constantemente inmersos en los procesos cíclicos de la naturaleza. Nuestra salud depende de la pureza del aire que respiramos y del agua que bebemos, así como de la salud del suelo en el que producimos nuestros alimentos. En las próximas décadas la supervivencia de la especie humana dependerá de nuestra alfabetización ecológica, de nuestra capacidad para comprender los principios básicos de ecología y para vivir en consecuencia. Así pues, la alfabetización ecológica o «ecoalfabetización» no sólo deberá convertirse en una capacidad básica para políticos, empresarios y profesionales en general, sino que debería constituir también la parte más importante de la educación a todos los niveles, desde las escuelas de educación primaria y secundaria hasta las universidades y los programas de formación continua de profesionales. En el Center for Ecoliteracy de Berkeley (www.ecoliteracy.org) mis compañeros y yo hemos desarrollado un sistema de educación para la vida sostenible, basado en la alfabetización ecológica, para los niveles de educación primaria y secundaria.⁵⁰ Este

sistema implica una pedagogía que se centra en la comprensión de la vida, una experiencia de aprendizaje en el mundo real (cultivar plantas alimenticias, explorar una cuenca fluvial, restaurar una marisma) que supera nuestra separación con la naturaleza y restablece un sentido de identidad con ella, junto con un plan de estudios que enseña las realidades básicas de la vida: que los residuos de una especie son los alimentos de otra, que la materia circula incesantemente a través de la trama de la vida, que la energía motriz para todos los ciclos ecológicos procede del Sol, que la diversidad garantiza la resistencia y que la vida, desde sus mismos inicios hace más de tres mil millones de años, no se extendió por el planeta por medio de la lucha, sino de la construcción de redes.

Este nuevo conocimiento, que es a la vez sabiduría ancestral, comienza a enseñarse en una red creciente de escuelas de California y se extiende también a diversas partes del mundo. En la educación superior se están produciendo esfuerzos parecidos, liderados por Second Nature (www.secondnature.org), organización educativa de Boston, que colabora con numerosas universidades para convertir la educación para la sostenibilidad en parte integrante de la vida del campus.

Por otro lado, la alfabetización ecológica está siendo transmitida y constantemente mejorada en asambleas informales y por una serie de nuevas instituciones de aprendizaje que emergen de la nueva sociedad civil global. El Schumacher College (www.gn.apc.org/schumachercollege/), ubicado en el condado de Devon, en el suroeste de Inglaterra, constituye un ejemplo sobresaliente de esa clase de instituciones. Se trata de un centro de estudios ecológicos con raíces filosóficas y espirituales en la ecología profunda, donde gentes de todas las partes del mundo se dan cita para aprender a convivir y trabajar juntos, al mismo tiempo que reciben las enseñanzas de maestras y maestros de todo el mundo.

PRINCIPIOS DE ECOLOGÍA

Redes

En todos los niveles de la naturaleza encontramos sistemas vivos dentro de otros sistemas: redes dentro de redes. Sus límites no son contornos de separación, sino de identidad. Todos los sistemas vivos se comunican y comparten recursos a través de sus perímetros.

Ciclos

Para mantener su vida los sistemas vivos necesitan alimentarse de los flujos continuos de materia y energía procedentes de su medio, y todos ellos producen residuos. Sin embargo, ningún ecosistema genera residuos netos, puesto que el residuo de una especie es siempre el alimento de otra. En consecuencia, la materia circula constantemente a través de la trama de la vida.

Energía solar

La energía del Sol, transformada en energía química por la fotosíntesis de las plantas verdes, constituye la fuerza que impulsa los ciclos ecológicos.

Asociación

En todo ecosistema los intercambios de energía y recursos están sustentados por una cooperación omnipresente. La vida no se extendió sobre el planeta por medio de la lucha, sino de la cooperación, la asociación y el funcionamiento en red.

Diversidad

Los ecosistemas alcanzan estabilidad y resistencia gracias a la riqueza y la complejidad de sus redes ecológicas. Cuanto más grande sea su biodiversidad, mayor será su resistencia.

Equilibrio dinámico

Todo ecosistema es una red flexible en fluctuación perpetua. Su flexibilidad es consecuencia de múltiples bucles de retroalimentación que mantienen al sistema en un estado de equilibrio dinámico. Ninguna variable es maximizada en exclusiva, sino que todas fluctúan en torno a sus valores óptimos.

La ecoalfabetización —la capacidad para comprender los principios de organización que los ecosistemas han desarrollado evolutivamente para sustentar la trama de la vida— constituye el primer paso en el camino hacia la sostenibilidad. El segundo es avanzar hacia el ecodiseño. Necesitamos aplicar nuestro conocimiento ecológico al rediseño fundamental de nuestras tecnologías y de nuestras instituciones sociales, de modo que podamos salvar el abismo actual entre el diseño humano y los sistemas ecológicamente sostenibles de la naturaleza.

Afortunadamente, eso ya está sucediendo. Los últimos años han sido testigos de un espectacular aumento del número de prácticas y proyectos ecológicamente orientados. El libro *Natural Capitalism*, publicado recientemente por Paul Hawken, Hunter Lovins y Amory Lovins, proporciona una comprensión general al respecto, mientras que el Rocky Mountain Institute de los Lovins (www.rmi.org) sirve como punto de encuentro para el intercambio de ideas y la puesta al día de información sobre una gran variedad de proyectos de ecodiseño.

En su sentido más amplio, el diseño consiste en dar forma a flujos de energía y materiales para propósitos humanos. El ecodiseño constituye un proceso en el que los propósitos humanos están cuidadosamente imbricados con los patrones y los flujos más amplios del mundo natural. Los principios de ecodiseño reflejan los principios de organización que la naturaleza ha desarrollado evolutivamente para sustentar la vida. La práctica del diseño industrial en semejante contexto requiere un cambio fundamental en nuestra actitud hacia la naturaleza. En palabras de la escritora científica Janine Benyus, «da paso a una era no basada ya en qué podemos *extraer* de la naturaleza, sino en qué podemos *aprender* de ella».⁵¹

Al hablar de la «sabiduría de la naturaleza», del espléndido «diseño» de las alas de una mariposa o de la tela de una araña, no debemos olvidar que nuestro lenguaje es metafórico.⁵² Sin embargo, eso no cambia el hecho de que, desde la perspectiva de la sostenibilidad, el «diseño» y las «tecnologías» de la naturaleza sean infinitamente superiores a la ciencia y la tecnología

humanas. Desde su creación han sido mejoradas por miles de millones de años de evolución, durante los cuales los moradores del hogar Tierra florecieron y se diversificaron sin agotar nunca su capital natural: los recursos planetarios y los servicios ecosistémicos de los que dependen el bienestar y la supervivencia de todas las criaturas vivas.

LA AGRUPACIÓN ECOLÓGICA DE INDUSTRIAS

El primer principio del ecodiseño consiste en que «residuo equivale a recurso». Hoy día el principal desajuste entre economía y ecología deriva de que los ecosistemas de la naturaleza son cíclicos, mientras que nuestros sistemas industriales son lineales. En la naturaleza la materia circula continuamente y, por consiguiente, los ecosistemas no generan residuos. Las actividades económicas humanas, en cambio, toman recursos naturales y los transforman en parte en productos y en parte en residuos. Venden esos productos a sus clientes, que, a su vez, generan más residuos al utilizarlos.

El principio «residuo equivale a recurso» significa que todos los productos y materiales manufacturados por la industria, así como los residuos generados durante su proceso de producción, deben ser, en algún momento, materia prima para algo nuevo.⁵³ Toda organización empresarial sostenible debería, pues, formar parte de una «ecología de organizaciones», en la que los residuos de una fueran los recursos de otra. En un sistema industrial sostenible de esas características el flujo total de cada una de sus organizaciones miembros –sus productos y sus residuos– sería visto como recursos que circulan por el sistema.

Esa clase de agrupaciones de industrias se ha iniciado ya en varios lugares del mundo, a iniciativa de una organización denominada Zero Emissions Research and Initiatives (ZERI), fundada por el empresario Gunter Pauli a principios de los noventa. Pauli introdujo el concepto de agrupación de empresas, promocionó el principio de cero emisiones y lo convirtió en el

núcleo del concepto ZERI. Cero emisiones significa cero residuos. Tomando a la naturaleza como modelo y mentor, ZERI pugna por eliminar la idea misma de residuo.

Para apreciar en toda su extensión la radicalidad de este planteamiento es necesario tener en cuenta que nuestras industrias actuales desperdician la práctica totalidad de los recursos que toman de la naturaleza. Por ejemplo, al extraer celulosa para fabricar papel utilizamos tan sólo entre el veinte y el veinticinco por ciento de los bosques que talamos, y desperdiciamos como residuo el ochenta o setenta y cinco por ciento restante. Las cerveceras extraen tan sólo el ocho por ciento de los nutrientes del grano que fermentan. El aceite de palma extraído no llega al cuatro por ciento de la biomasa del árbol. Los granos de café equivalen meramente a un 3,7 por ciento del arbusto.⁵⁴

El punto de partida de Pauli fue la constatación de que los residuos orgánicos que una industria tiraba o quemaba contenían abundancia de recursos preciosos para otras industrias. ZERI ayuda a las industrias a organizarse en agrupaciones ecológicas, de modo que los residuos de una puedan serle vendidos como materia prima a otra. De este modo ambas se benefician.⁵⁵

En última instancia, el principio de cero emisiones implica consumo cero de materiales. Como en los ecosistemas naturales, una sociedad humana sostenible utilizaría la energía del Sol, pero no consumiría ningún bien material sin reciclarlo después. En otras palabras, nunca utilizaría nuevos materiales. Por otro lado, cero emisiones significa también cero contaminación. Las agrupaciones ZERI están diseñadas para operar en un entorno libre de residuos tóxicos y contaminación. De este modo «residuo equivale a recurso», principio fundamental del ecodiseño, apunta a la solución definitiva de uno de nuestros mayores problemas.

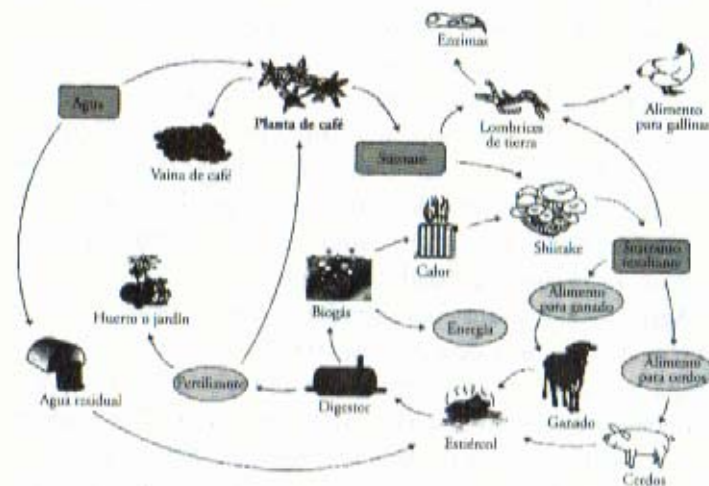
Desde el punto de vista económico, el concepto ZERI significa un enorme incremento de la productividad de los recursos. Según la teoría económica clásica, la productividad es el resultado de la combinación eficiente de tres fuentes de riqueza: recursos naturales, capital y trabajo. En la economía actual dirigentes empresariales y economistas centran su atención princi-

palmente en el capital y en el trabajo para incrementar la productividad, y crean economías de escala con consecuencias catastróficas para la sociedad y el medio ambiente.⁵⁶ El concepto ZERI implica un cambio, de productividad del trabajo a productividad de los recursos, puesto que los residuos se convierten en nuevos recursos. La agrupación industrial ecológica incrementa espectacularmente la productividad y mejora la calidad del producto, al mismo tiempo que crea puestos de trabajo y reduce la contaminación.

La organización ZERI consiste en una red internacional de investigadores, empresarios, funcionarios gubernamentales y educadores.⁵⁷ Los investigadores tienen un papel crucial, en la medida en que la organización de los agrupamientos de industrias se basan en un conocimiento pormenorizado de la biodiversidad y los procesos biológicos de los ecosistemas locales. Pauli lanzó inicialmente su ZERI como proyecto de investigación en la Universidad de las Naciones Unidas de Tokio. Para ello creó una red de científicos por Internet utilizando las redes ya existentes de la Real Academia Sueca de Ciencias, de la Academia China de Ciencias y de la Academia de Ciencias del Tercer Mundo. Al ser uno de los pioneros en promover conferencias e intercambios científicos por la red, consiguió suscitar el interés de la comunidad científica y, al plantear incesantemente cuestiones estimulantes en bioquímica, ecología, climatología y otras disciplinas, no sólo consiguió generar soluciones industriales, sino estimular nuevas ideas para la investigación científica. Para subrayar la naturaleza socrática de su método, a la primera red académica de ZERI la bautizó Sócrates Online. Desde entonces la red ZERI de investigadores ha crecido hasta contar con tres mil científicos de todo el mundo.

ZERI tiene en marcha unos cincuenta proyectos en el mundo y opera veinticinco centros en cinco continentes, en climas y culturas muy distintas. Las agrupaciones en torno a los cafetales colombianos son un buen ejemplo del método ZERI básico. Esas explotaciones están en crisis debido a la catastrófica caída del precio del café en los mercados internacionales. Mientras

tanto, los cafeteros siguen utilizando tan sólo el 3,7 por ciento de la planta y devuelven la práctica totalidad del resto al terreno como abono y residuos: humo, agua residual y compost contaminado por la cafeína. ZERI puso a trabajar esos residuos. Las investigaciones demostraron que la biomasa del café puede ser utilizada provechosamente para cultivar setas tropicales, para alimentar al ganado como fertilizante orgánico y para generar energía. La imagen muestra el ZERI resultante.



Agrupación ecológica en torno a un cafetal colombiano
(de www.zeri.org)

Los residuos de cada componente de la agrupación proporcionan un recurso para otro componente. Para expresarlo en términos muy simplificados, cuando se han cosechado las vainas del café, el resto de la planta se utiliza para cultivar setas shiitake (variedad muy cotizada), los restos de las setas (ricos en proteínas) sirven para alimentar a lombrices, ganado y cerdos, las lombrices sirven de alimento a gallinas, el estiércol de ganado y cerdos produce biogás y materia orgánica, la materia orgánica fertiliza el cafetal y los huertos colindantes, mientras que el biogás es utilizado en el proceso de cultivo de setas.

Con muy poca inversión adicional la agrupación de estos sistemas productivos genera una serie de fuentes de ingreso adicionales a la explotación del cafetal —aves, setas, vegetales, ganado vacuno y de cerda— al mismo tiempo que crea puestos de trabajo dentro de la comunidad. Los resultados son beneficiosos tanto para la comunidad como para el medio ambiente, no hacen falta grandes inversiones y los cafeteros no tienen que abandonar su medio de vida tradicional.

En las agrupaciones ZERI típicas las tecnologías son siempre locales y de pequeña escala. Los lugares de producción suelen estar próximos a los de consumo, lo cual elimina los costes de transporte o los reduce drásticamente. Ninguna de las producciones trata de maximizar sus resultados, porque ello redundaría en el desequilibrio del conjunto. En lugar de ello el objetivo consiste en optimizar los procesos de producción de cada componente de la agrupación, con lo que se maximizan la productividad y la sostenibilidad del conjunto.

Agrupaciones industriales similares, con fábricas de cerveza como centro en lugar de cafetales, están funcionando en África, Europa, el Japón y otros lugares del mundo. Otras agrupaciones tienen componentes acuáticos, como una del Brasil que incluye el cultivo de algas del género *Spirulina*, de gran poder nutritivo, en los canales de irrigación de los campos de arroz, que, de otro modo, se utilizarían una sola vez al año. Esas algas se usan como aditivo nutricional para el programa de «galletas de jengibre» en las escuelas rurales, como parte de la lucha contra la desnutrición, muy extendida en la zona, con lo cual se consigue generar unos ingresos adicionales para los cultivadores de arroz al mismo tiempo que se da respuesta a una necesidad social urgente.

El Centro de Investigaciones Ecológicas de Las Gaviotas, en el este de Colombia, constituye una aplicación impresionante del concepto ZERI a gran escala. Establecido y dirigido por el ecodiseñador Paolo Lugari, Las Gaviotas ha logrado crear, en medio de la profunda crisis social del país, un entorno lleno de innovación y de esperanza.

Cuando ZERI llegó a Las Gaviotas, el centro ya se había labrado una reputación mundial a través del desarrollo de numerosas e ingeniosas tecnologías de energía renovable, que incluyen agua calentada por energía solar para varios miles de hogares en Bogotá, la capital del país, así como un hospital rural que produce su propia energía eléctrica fotovoltaica, destila su agua y utiliza alimentos producidos localmente.

Tras esos éxitos Lugari se embarcó en el programa de reforestación más extensivo de la historia de Colombia. Que prosperen los árboles en las sabanas del este (los *llanos*)* constituye un reto mayúsculo. La alta acidez del suelo y las elevadas temperaturas limitan seriamente las especies susceptibles de sobrevivir a los estíos secos y tórridos. Sin embargo, y tras un cuidadoso análisis, los científicos de Las Gaviotas llegaron a la conclusión de que una especie conocida como pino del Caribe lograría tal vez adaptarse a aquellas condiciones extremas.

Tras dos años de plantación los resultados les dieron la razón. Desde entonces el centro ha plantado miles de hectáreas con la ayuda de máquinas diseñadas especialmente para ello. Al principio se especulaba con la posibilidad de que un monocultivo tan extenso de pinos pudiera tener consecuencias ecológicas negativas, pero ocurrió exactamente lo contrario. La continua caída de agujas de pino sobre el suelo creó una rica cubierta de humus que hizo posible que brotaran nuevas plantas, árboles y sotobosque. Hoy día se pueden contar en ese microclima hasta doscientas nuevas especies que no están presentes en ningún otro lugar de la sabana, y con ellas llegaron bacterias, insectos, pájaros e incluso mamíferos. La biodiversidad ha aumentado espectacularmente.

Además de absorber CO₂ de la atmósfera (lo cual contribuye a reducir el calentamiento global) y recuperar la biodiversidad perdida, los pinos producen también colofonia, que se obtiene de su savia y se procesa para utilizarla en la fabricación de pinturas naturales y de un papel satinado de alta calidad. Todo

* En español en el original. (N. del T.)

ello crea puestos de trabajo y valiosas fuentes de ingresos adicionales. Finalmente, resultó que las bacterias generadas por el bosque recién plantado actúan como un excelente sistema de filtro y purifican el agua del subsuelo, que, además, es rica en minerales. El centro extrae y embotella el agua mineral resultante a un coste muy reducido, lo cual contribuye a la salud preventiva, habida cuenta de que muchos de los problemas sanitarios de la región se deben a la pobre calidad del agua. La afortunada historia de Las Gaviotas constituye una excelente demostración del concepto ZERI. Impulsada por el programa de reforestación, la agrupación ecológica –diseñada conjuntamente por ZERI y Las Gaviotas– contribuye a reducir el calentamiento global, aumenta la biodiversidad, genera nuevos flujos de ingresos y contribuye significativamente a mejorar la salud pública de la región.

Para formar la organización ZERI Gunter Pauli utilizó las técnicas más avanzadas de redes y conferencias electrónicas. ZERI consiste en tres tipos de redes interconectadas. La primera es la agrupación ecológica de industrias, inspirada en las redes tróficas de los ecosistemas naturales. Íntimamente asociada con ella está la segunda, la red humana de la comunidad local donde se ubica cada agrupación. Finalmente, la tercera consiste en la red internacional de científicos que proporciona los conocimientos detallados necesarios para el diseño de agrupaciones industriales compatibles con los ecosistemas, las condiciones climáticas y las características culturales locales. Debido a la naturaleza no lineal de esas redes interconectadas, las soluciones que dan son múltiples o «sistémicas». El valor combinado creado por el conjunto es siempre mayor que la suma de los valores que sus componentes generarían por sí solos.

Gracias a sus fuertes incrementos en productividad de recursos esas industrias agrupadas pueden aspirar a unos niveles de calidad en sus productos notablemente superiores a los que pueden permitirse las industrias aisladas del mismo ramo. Como consecuencia de ello las industrias ZERI son competitivas en el mercado global, no en el sentido de que vendan sus productos

globalmente, sino en el de que nadie puede competir con ellas en su propio territorio. Como sucede en los ecosistemas, la biodiversidad genera resistencia. Cuanta más diversidad incorpora una agrupación ZERI, más resistente y competitiva es. La suya no es una economía de escala, sino que, como manifiesta Pauli, es una «economía de alcance».

No resulta difícil darse cuenta de que los principios subyacentes en el concepto ZERI –estructura no lineal en red, circulación de la materia, asociaciones múltiples, diversidad de empresas, producción y consumo locales, tener como objetivo la optimización, en lugar de la maximización– son principios básicos de ecología. Por supuesto, no se trata de una coincidencia. Las agrupaciones ZERI son ejemplos impresionantes de ecoalfabetización hecha ecodiseño.

UNA ECONOMÍA DE SERVICIO Y FLUJO

La mayoría de las agrupaciones ZERI implican recursos y residuos orgánicos. Sin embargo, para conseguir sociedades industriales sostenibles, el principio de ecodiseño «residuo equivale a recurso» y la correspondiente circulación cíclica de materia deben extenderse más allá de los productos orgánicos. Este concepto ha sido articulado en profundidad por los ecodiseñadores Michael Braungart en Alemania y William McDonough en los Estados Unidos.⁵⁸

Braungart y McDonough hablan de dos clases de metabolismos: el biológico y el técnico. La materia que circula por el metabolismo biológico es biodegradable y se convierte en alimento para otros sistemas vivos. Los materiales no degradables son considerados nutrientes técnicos, que circulan continuamente por los ciclos industriales que constituyen el metabolismo técnico. Para que ambos metabolismos conserven su salud es necesario tener gran cuidado en mantenerlos diferenciados y separados, de modo que no se contaminen mutuamente. Aquello que forma parte del metabolismo biológico –productos agrícolas, ropa, cos-

méticos, etcétera— no debería contener sustancias tóxicas persistentes. Lo que pertenezca al metabolismo técnico —maquinaria, estructuras físicas, etcétera— debe mantenerse bien separado del metabolismo biológico.

En una sociedad industrial sostenible todos los productos, materiales y residuos serán nutrientes biológicos o técnicos. Los nutrientes biológicos estarán diseñados para volver a los ciclos ecológicos a fin de ser consumidos por microorganismos u otras criaturas del suelo. Además de los restos orgánicos de nuestros alimentos, la mayor parte de los envoltorios (que constituyen casi la mitad del volumen total de nuestros residuos sólidos) deberían estar compuestos por nutrientes biológicos. Con las tecnologías actuales es perfectamente factible fabricar envoltorios que puedan ser arrojados al cubo del compost para su biodegradación. Como señalan McDonough y Braungart: «No hace ninguna falta que los frascos de champú, los tubos de dentífrico, los envases de yogur, los cartones de zumos y demás recipientes y envoltorios duren décadas (o incluso siglos) más que lo que un día contuvieron.»⁵⁹

Los nutrientes técnicos, por su parte, estarán diseñados para ser reincorporados a los ciclos técnicos. Braungart y McDonough subrayan que la reutilización de nutrientes técnicos en los ciclos industriales es algo distinto del reciclaje, en el sentido de que mantiene la alta calidad de los materiales en lugar de «rebajarlos» a jardineras o bancos para parques urbanos. Todavía no se han establecido metabolismos técnicos equivalentes a las agrupaciones ZERI. Pero hay una fuerte tendencia hacia ello. En los Estados Unidos, que no es precisamente un líder en reciclaje, más de la mitad del acero se produce a partir de chatarra. En la misma línea, tan sólo en Nueva Jersey hay más de una docena de industrias papeleras que trabajan exclusivamente con papel reciclado.⁶⁰ Los nuevos minihornos siderúrgicos no necesitan ya estar al lado de las minas, ni las nuevas papeleras junto a los bosques, sino próximas a las ciudades que producen los residuos que las alimentan y que consumen sus productos, lo cual permite ahorrar en gran medida en transportes.

En el horizonte se perciben muchas más tecnologías de ecodiseño para la utilización repetida de nutrientes técnicos. Por ejemplo, ya es posible crear tintas especiales que se separan del papel en contacto con agua caliente sin dañar sus fibras. Esta innovación química permitiría la completa separación de tinta y papel de modo que ambos pudieran ser reutilizados. El papel duraría entre diez y trece veces más que los papeles reciclados de modo convencional. Si esta técnica se utilizara a nivel mundial, reduciría el consumo de pulpa de papel en un noventa por ciento, además de reducir drásticamente el vertido al medio ambiente de tintas tóxicas.⁶¹

Si el concepto de ciclos técnicos fuera implantado plenamente, conduciría a una reestructuración fundamental de las relaciones económicas. Después de todo, lo que buscamos en un producto técnico no es su posesión, sino el servicio que nos proporciona. Lo que realmente queremos es que nuestro vídeo nos entretenga, que nuestro coche nos transporte y que nuestra nevera nos enfríe las bebidas. Como Paul Hawken gusta de señalar, no compramos un televisor para tener una caja con cuatro mil productos tóxicos dentro, sino para ver la televisión.⁶²

Desde la perspectiva del ecodiseño no tiene ningún sentido poseer todas esas cosas y tirarlas luego, al final de su vida útil. Parece mucho más lógico comprar el servicio que de ellas deseamos recibir, es decir, alquilarlas. La propiedad podría seguir siendo del fabricante, y cada vez que hubiésemos terminado de utilizar el producto, o que deseáramos cambiarlo por otro más actualizado, aquél lo retiraría, lo desmontaría para obtener sus componentes básicos —los nutrientes técnicos— y los utilizaría en su cadena de producción, o los vendería a otras industrias.⁶³ La economía ya no se basaría en la propiedad de bienes, sino en el servicio y en el flujo. Las materias primas y los componentes técnicos circularían continuamente entre fabricantes y usuarios, así como entre industrias.

Este cambio de una economía orientada al producto a otra orientada al servicio y al flujo ya es algo más que pura teoría.

La compañía Interface, con sede en Atlanta, que es uno de los mayores fabricantes de moquetas del mundo, ha iniciado la transición de la venta al alquiler de sus productos.⁶⁴ La idea general consiste en que la gente no quiere poseer una moqueta, sino disfrutar de su diseño y andar sobre ella, servicios que puede obtener a un coste muy inferior si el fabricante conserva la posesión de su producto y se responsabiliza de mantenerlo en buen estado a cambio de un alquiler mensual. Las moquetas de Interface se sirven en placas, de las que cada mes se cambian únicamente las que se hayan desgastado o estropeado. Eso reduce no sólo la cantidad de material necesario para reposiciones, sino también las molestias, porque las placas usadas no suelen estar bajo el mobiliario. Cuando un cliente desea sustituir toda la moqueta, Interface la retira, para extraer de ella los nutrientes técnicos, y entrega a su cliente otra del color, estilo y textura deseados.

Estas prácticas, unidas a diversas innovaciones en el diseño de materiales, han convertido a Interface en una de las empresas pioneras de la nueva economía de servicio y flujo. Innovaciones parecidas han sido introducidas por Canon en la industria de las fotocopiadoras del Japón, así como por Fiat en Italia en la industria del automóvil. Canon ha revolucionado el mercado de las fotocopiadoras al rediseñarlas de tal modo que más de un noventa por ciento de sus componentes pueden ser reutilizados o reciclados.⁶⁵ En el sistema Fiat Auto Reciclado (FARE) el acero, los plásticos, los cristales, el relleno de los asientos y muchos otros componentes son retirados de los vehículos usados en más de trescientos centros de desmontaje y reutilizados en otros vehículos o vendidos a otras industrias. La empresa se ha fijado como objetivo para 2002 el reciclaje del ochenta y cinco por ciento de materiales, porcentaje que ascenderá al noventa y cinco por ciento en 2010. El programa FARE ha sido extendido a varios países de Europa y de Latinoamérica.⁶⁶

En una economía de servicio y flujo los fabricantes tienen que poder retirar con facilidad sus productos para redistribuir los materiales resultantes del desmontaje, lo cual va a ejercer un

impacto considerable sobre el propio diseño del producto. Los productos con mayor éxito serán los que contengan un menor número de materiales y componentes que puedan ser desmontados, separados, reformados y reutilizados con facilidad. Las empresas antes mencionadas han rediseñado por completo sus productos para facilitar su desmontaje. Cuando eso sucede, la demanda de mano de obra para las labores adicionales de desensamblaje, selección y reciclaje aumenta en la misma medida en que disminuyen los residuos. De este modo la economía de flujo y servicio implica pasar de la explotación de recursos naturales, que son escasos, a la utilización de recursos humanos, que abundan.

Otro efecto de este nuevo diseño de producto consistirá en alinear los intereses de los fabricantes con los de los usuarios, en lo referente a durabilidad del producto. En una economía basada en la venta de productos la obsolescencia y la sustitución frecuente de bienes interesan a los fabricantes, aunque resulten dañinas para el medio ambiente y costosas para los consumidores. En una economía de servicio y flujo, en cambio, interesa por igual a fabricantes y a usuarios crear bienes de vida larga y bajo coste de producción, tanto en energía como en materiales.

HACER MÁS CON MENOS

Incluso a pesar de que el ciclo completo de materiales en agrupaciones de industrias no se ha logrado todavía, las agrupaciones parciales y los bucles de materiales existentes han conducido a espectaculares incrementos en la eficiencia de energía y recursos. Los ecodiseñadores se muestran de acuerdo en que, en los países desarrollados, y sin que ello signifique merma alguna del nivel de vida de sus habitantes, es posible alcanzar una reducción del *noventa por ciento* en el consumo de energía y materiales.⁶⁷ Es lo que se conoce como Factor Diez, porque significa multiplicar por diez la eficiencia de los recursos. Los ministros de Medio

Ambiente de varios países europeos, así como el PNUMA, han encarecido la adopción urgente de objetivos Factor Diez.⁶⁸

Esos espectaculares incrementos en la productividad de los recursos son posibles debido a la ineficiencia y el despilfarro masivos que caracterizan a la mayor parte del diseño industrial actual. Como en el caso de los recursos biológicos, los principios del ecodiseño, tales como trabajo en red, reciclado y optimización en lugar de maximización, no han solido formar parte de la teoría y la práctica del diseño industrial. La productividad de los recursos, por su parte, no ha entrado en el vocabulario de los diseñadores hasta hace bien poco.

Natural Capitalism, escrito por Paul Hawken, Hunter Lovins y Amory Lovins, está repleto de ejemplos pasmosos de incremento de la eficiencia de los recursos. Los autores estiman que, de seguir la línea marcada por esos ejemplos, prácticamente la mitad de la degradación de la biosfera quedaría resuelta, y subrayan que las ineficiencias actuales salen casi siempre más caras que las medidas que las invertirían.⁶⁹ En otras palabras, el ecodiseño es un buen negocio. Como sucede con las agrupaciones ZERI, el incremento de la productividad de los recursos en el ámbito técnico tiene múltiples efectos beneficiosos. Hace más lenta la disminución de recursos naturales, reduce la contaminación e incrementa el empleo. La productividad de los recursos por sí sola no solucionará nuestra crisis ambiental, pero nos puede proporcionar un tiempo precioso para permitirnos la transición hacia una sociedad sostenible.

El diseño de edificios es uno de los campos en los que el ecodiseño ha conducido a buen número de innovaciones impresionantes.⁷⁰ Una estructura comercial bien diseñada tiene una forma y una orientación que saca el mejor provecho del Sol y del viento y optimiza la calefacción y la refrigeración naturales pasivas. Esta estrategia, por sí sola, puede representar un ahorro de hasta un tercio del consumo energético total del edificio. La orientación adecuada, combinada con otros diseños solares pasivos, proporciona también una iluminación natural libre de deslumbramiento en toda la estructura, lo cual suele re-

presentar una iluminación natural suficiente durante las horas de insolación. Los sistemas modernos de iluminación eléctrica pueden producir colores agradables y adecuados sin parpadeos, zumbidos ni deslumbramientos. Esta combinación de fuentes de iluminación suele representar un ahorro de entre el ochenta y el noventa por ciento del consumo eléctrico en iluminación, lo cual permite amortizar la inversión adicional en un año.

Tal vez lo más impresionante sean las espectaculares mejoras en aislamiento y regulación de la temperatura aportadas por las «superventanas», que mantienen el calor en invierno y el frescor en verano sin calefacción ni refrigeración adicionales. Las superventanas están recubiertas por una serie de capas invisibles que permiten la entrada de la luz, pero reflejan el calor. Además de estar compuestas por un doble acristalamiento, el espacio entre ambos cristales está relleno de gas pesado que bloquea los flujos de calor y sonido. Edificios experimentales equipados con esa clase de ventanas demuestran que puede mantenerse en su interior un confort completo, sin que sea necesaria la aportación de ningún equipo de calefacción o refrigeración, incluso en condiciones exteriores que van desde el frío intenso hasta el calor extremo.

Finalmente, los edificios ecodiseñados no tan sólo ahorran energía al dejar penetrar la luz natural y estar aislados de la temperatura exterior, sino que pueden también producir energía. Es posible producir electricidad fotovoltaica en paneles de fachada, elementos de cubierta y otros componentes estructurales que parecen materiales de construcción corrientes y funcionan como tales, pero que producen electricidad cuando reciben la luz del Sol, aunque sea a través de nubes. Un edificio dotado de esos sistemas puede producir durante el día más electricidad que la que consume. De hecho, eso es precisamente lo que hacen cada día más de medio millón de casas dotadas de energía solar fotovoltaica en todo el mundo.

Ésas son tan sólo algunas de las innovaciones recientes más importantes en el ecodiseño de edificios, pero no se limitan a edificios nuevos, sino que pueden ser también aplicadas a la re-

novación de edificios existentes. Los ahorros en energía y materiales generados por esas innovaciones son espectaculares, amén de que los edificios así diseñados son más cómodos y saludables para sus usuarios. A medida que las innovaciones en ecodiseño se multipliquen, los edificios se parecerán cada vez más a la visión de Michael Braungart y William McDonough: «Imaginamos [...] un edificio que será parecido a un árbol: purificará el aire, aprovechará la luz del Sol, producirá más energía que la que consume, dará sombra y un buen hábitat, enriquecerá el suelo y cambiará con las estaciones.»⁷¹ Hoy día existen ya algunos edificios con estas características revolucionarias.⁷²

El de los transportes es otro sector en el que son posibles tremendos ahorros de energía. Como hemos visto, las reglas de libre comercio de la OMC están diseñadas para menguar la producción local y favorecer, en cambio, las exportaciones e importaciones, lo cual incrementa de forma masiva el transporte a larga distancia y somete al medio ambiente a un enorme estrés.⁷³ Invertir esta tendencia es parte importante del programa de la Coalición de Seattle para remodelar la globalización, y conllevaría un ahorro espectacular de energía, como puede comprobarse ya en varios de los ejemplos pioneros de ecodiseño mencionados en las páginas precedentes, desde las agrupaciones ecológicas de industrias locales y de pequeña escala hasta las minifábricas que producen acero o papel a partir de chatarra o restos, o la producción de alimentos orgánicos por explotaciones ecológicas locales y que son vendidos localmente.

Consideraciones parecidas son también de aplicación al diseño urbano. La extensión urbana y suburbana que caracteriza a la mayoría de las ciudades modernas, particularmente en los Estados Unidos, ha generado una gran dependencia del automóvil con un papel mínimo del transporte urbano, de la bicicleta o de la práctica de andar. Consecuencias: elevado consumo de combustibles y sus correspondientes niveles de contaminación y de emisión de gases de invernadero, grave estrés para las personas debido a la congestión de tráfico, pérdida de la vida callejera, de la comunidad y de la seguridad pública.

Las tres décadas pasadas han sido testigo de la emergencia de un movimiento internacional de «ecociudades», que trata de compensar la expansión urbana mediante la utilización de principios de ecodiseño, con el objetivo de rediseñar nuestras ciudades de modo que se vuelvan ecológicamente sanas.⁷⁴ Por medio de un análisis pormenorizado de los patrones de transporte y de uso del suelo, los planificadores urbanos Peter Newman y Jeff Kenworthy descubrieron que el consumo energético depende crucialmente de la densidad urbana.⁷⁵ A medida que la densidad aumenta, se incrementan también el uso de la bicicleta y los desplazamientos a pie, mientras que decrece el del automóvil. Los centros históricos con alta densidad de población y uso mixto del suelo, reconvertidos en los espacios sin vehículos a motor que otrora fueron, existen hoy día en la mayoría de las ciudades europeas. Otras ciudades han creado espacios nuevos libres de vehículos a motor, que estimulan la utilización de la bicicleta y los paseos. Estos nuevos barrios, conocidos como «pueblos urbanos», combinan edificaciones de elevada densidad con amplias zonas verdes comunes.

La ciudad alemana de Friburgo, por ejemplo, tiene un pueblo urbano llamado Seepark, construido en torno a un gran lago y a una línea de tranvía. La comunidad prescinde por completo de vehículos a motor, todos los desplazamientos se realizan en bicicleta o a pie y abunda el espacio abierto donde los niños pueden jugar sin peligro. Espacios similares, sin tráfico rodado e integrados a la red de transporte público, han sido creados en otras ciudades como Munich, Zurich y Vancouver. La aplicación de principios de ecodiseño ha aportado a esas zonas numerosos beneficios, entre los cuales cabe contar un ahorro significativo de energía y un entorno seguro y saludable, con niveles de contaminación drásticamente reducidos.

Además de los logros arriba descritos, también se consigue un ahorro mayúsculo de energía y materiales a través de un rediseño radical de los propios automóviles, pero aunque los «hipercoches» —vehículos ultraligeros, supereficientes y no contaminantes— estén pronto en el mercado,⁷⁶ ello no solucionará los

múltiples problemas de salud, sociales y medioambientales provocados por el uso excesivo del automóvil. Tan sólo cambios fundamentales en nuestros patrones de producción y consumo, junto con un nuevo diseño para nuestras ciudades, podrá lograrlo. Mientras tanto, sin embargo, los hipercoches –al igual que otras mejoras significativas en la productividad de los recursos– reducirán de forma importante la contaminación y nos darán el tiempo que tanto necesitamos para la transición hacia un futuro sostenible.

EL SOL COMO FUENTE DE ENERGÍA

Antes de fijar nuestra atención en el ecodiseño de automóviles, es preciso que examinemos con más detenimiento la cuestión del uso de la energía. En una sociedad sostenible la totalidad de las actividades y los procesos industriales humanos será alimentada, en última instancia, por el Sol, como sucede en los procesos de los ecosistemas naturales. La energía solar es la única a la vez renovable y benigna para el medio ambiente. Por consiguiente, el paso a una sociedad sostenible incluye ineludiblemente el cambio de los combustibles sólidos –fuente principal de energía de la Era Industrial– al Sol como fuente única de energía.

El Sol ha proporcionado energía a nuestro planeta durante miles de millones de años. La práctica totalidad de nuestros recursos energéticos –madera, carbón, petróleo, gas natural, viento, energía hidráulica, etcétera– tiene su origen en la energía solar. Sin embargo, no todas esas fuentes de energía son renovables. En el debate actual sobre la energía, el término «energía solar» se refiere a las formas de energía que provienen de fuentes inagotables o renovables: la luz del Sol para calentar agua y producir calefacción y electricidad, el viento, la energía hidráulica (corrientes, saltos de agua, mareas) y la biomasa o materia orgánica. Las tecnologías solares más eficientes involucran dispositivos de pequeña escala, utilizados por comunidades locales, que generan

gran variedad de empleos. El uso de la energía solar, como los demás principios de ecodiseño, reduce la contaminación y al mismo tiempo aumenta el empleo. Es más, el paso a la energía solar beneficiará particularmente a los pobladores de los países del Sur, donde la insolación es mayor.

En los últimos años ha quedado cada vez más claro que la transición a la energía solar es necesaria no tan sólo porque los combustibles fósiles –carbón, petróleo y gas natural– son limitados y no renovables, sino, particularmente, por sus efectos devastadores sobre el medio ambiente. Los descubrimientos del papel del dióxido de carbono o CO_2 en el cambio climático, y de la responsabilidad humana en el incremento de la presencia de este gas en la atmósfera, han subrayado la relación directa entre contaminación medioambiental y consumo de energía procedente de combustibles fósiles, y la intensidad del carbono ha pasado a convertirse en un indicador importante para nuestro avance hacia la sostenibilidad. Como manifiesta Seth Dunn, del Worldwatch Institute, necesitamos «descarbonizar» nuestra economía energética.⁷⁷

Afortunadamente, eso ya está sucediendo. El ecólogo industrial Jesse Ausubel, citado por Dunn, ha demostrado que a lo largo de los últimos doscientos años se ha producido una progresiva descarbonización de nuestras fuentes de energía. Durante milenios la principal fuente de energía para la humanidad fue la madera, que libera diez moléculas de carbono (en forma de cenizas o de CO_2) por cada molécula de hidrógeno (en forma de vapor de agua) al ser quemada. Cuando el carbón pasó a convertirse en la principal fuente de energía para el mundo industrial del siglo XIX, esa proporción se redujo a 2:1. A mediados del siglo XX el petróleo rebasó al carbón como principal fuente energética, lo cual contribuyó al proceso de descarbonización, habida cuenta de que el petróleo libera tan sólo una molécula de carbono por cada dos de hidrógeno. Con el gas natural (metano), que comenzó su ascenso en las últimas décadas del siglo XX, la descarbonización fue aún más lejos, con una unidad de carbono liberada por cada cuatro unidades de

hidrógeno. Así pues, cada nueva fuente principal de energía reducía la proporción entre carbono e hidrógeno. La transición a la energía solar será el último paso en este proceso de descarbonización, puesto que las energías renovables no liberan carbono a la atmósfera.

Hace unas décadas había grandes esperanzas de que la energía nuclear pudiera llegar a ser el combustible limpio ideal que sustituyera al carbón y al petróleo, pero bien pronto se hizo patente que esta energía acarrea unos costes y unos riesgos tan descomunales que no puede constituir, de ningún modo, una solución viable.⁷⁸ Esos riesgos comienzan con la contaminación de personas y entorno por sustancias radiactivas cancerígenas en cada una de las etapas del ciclo del combustible nuclear: la extracción y el enriquecimiento del uranio, la operación y el mantenimiento del reactor, y el manejo y almacenamiento o reprocesado de los residuos radiactivos. Por añadidura, existen las inevitables fugas de radiación en accidentes nucleares, o incluso en el funcionamiento habitual de las centrales, la cuestión sin resolver de cómo dismantelar con seguridad los reactores nucleares y de cómo gestionar los residuos radiactivos, la amenaza de terrorismo nuclear y la correspondiente pérdida de libertades cívicas en una «economía del plutonio» totalitaria, a todo lo cual hay que añadir las consecuencias económicas desastrosas del uso de la energía nuclear como fuente de energía intensiva en capital y altamente centralizada.

Todos estos riesgos se combinan con los problemas inherentes al coste del combustible y a la construcción de las propias centrales, todo lo cual se une para situar los costes de explotación de las centrales nucleares a unos niveles que hacen que no sean competitivas. Ya en el año 1977 un destacado asesor de inversiones concluía una investigación exhaustiva sobre la industria nuclear con las siguientes palabras: «Debemos, pues, llegar a la conclusión de que, desde el punto de vista estrictamente económico, confiar en la fisión nuclear como fuente primordial de nuestros suministros estacionarios de energía constituiría una locura económica sin precedentes en la histo-

ria.»⁷⁹ Hoy día la nuclear es la fuente de energía que menos aumenta en el mundo, con un crecimiento que fue tan sólo del uno por ciento en 1996 y no tiene perspectivas de mejora. Según *The Economist*: «Ninguna [central nuclear], en ningún lugar del mundo, tiene el menor sentido comercial.»⁸⁰

El sector de la energía solar, en cambio, es el sector energético que ha experimentado el mayor crecimiento en la década pasada. El uso de células solares (es decir, células fotovoltaicas que convierten la luz del Sol en electricidad) aumentó un diecisiete por ciento al año en los noventa, y la energía eólica creció, de forma aún más espectacular, una media del veintisiete por ciento anual.⁸¹ Se estima que alrededor de medio millón de hogares en todo el mundo, principalmente en localidades remotas que no tienen acceso a la red eléctrica, obtienen hoy día su energía eléctrica mediante células solares. El invento reciente en el Japón de tejas solares augura una mayor expansión del uso de la energía fotovoltaica. Como ya he mencionado, esas «tejas solares» permiten convertir cualquier tejado en una pequeña central eléctrica, lo cual, probablemente, revolucionará la generación de electricidad.

Esos avances demuestran que la transición a la energía solar está en camino. En 1997 un estudio exhaustivo realizado por cinco laboratorios científicos estadounidenses concluyó que la energía solar podía abastecer el sesenta por ciento de la demanda energética de los Estados Unidos a precios competitivos, siempre y cuando hubiera una competencia libre y justa y se contabilizaran adecuadamente sus beneficios medioambientales. Un año después, un estudio de Royal Dutch Shell consideraba muy probable que, alrededor de mediados del siglo siguiente (el XXI) las energías renovables fueran suficientemente competitivas para abastecer, al menos, la mitad de la demanda energética mundial.⁸²

Cualquier programa de energía solar a largo plazo tendrá que producir combustible líquido suficiente para el transporte aéreo y parte, al menos, de nuestro transporte terrestre presente. Hasta hace poco, éste era el talón de Aquiles de la transición

solar.⁸³ En el pasado la fuente preferida para la producción de combustible líquido renovable era la biomasa, en particular el alcohol destilado a partir de cereales o de frutos. El problema de esta solución consiste en que, aunque la biomasa es un recurso renovable, el suelo en que se cultiva no lo es. Si bien es cierto que cabe esperar una producción significativa de alcohol a partir de ciertos cultivos, también lo es que un programa de producción masiva de alcohol agotaría el suelo a la misma velocidad a la que ahora estamos agotando otros recursos naturales.

En los últimos años, sin embargo, el problema del combustible líquido ha encontrado una solución espectacular con el desarrollo de pilas de hidrógeno eficientes, que prometen la inauguración de una nueva era de la producción de energía: la «economía del hidrógeno». El hidrógeno, el elemento más ligero y abundante del universo, se usa comúnmente como combustible para cohetes espaciales. La pila de hidrógeno es un dispositivo electromecánico que combina el hidrógeno con el oxígeno para producir electricidad, agua... ¡y nada más! Eso convierte al hidrógeno en el combustible limpio por excelencia, el paso definitivo en el largo camino hacia la descarbonización total.

El proceso de una pila de hidrógeno es parecido al de una batería, con la diferencia de que utiliza un flujo continuo de combustible. Las moléculas de hidrógeno son alimentadas por un extremo del dispositivo, donde un catalizador las divide en protones y electrones. Estas partículas viajan entonces al otro extremo siguiendo caminos distintos. Los protones atraviesan una membrana, mientras que los electrones son obligados a circular a su alrededor, y se genera así en el proceso una corriente eléctrica. Tras ser usada, la corriente alcanza el otro extremo de la pila, donde los electrones son unidos de nuevo con los protones y el hidrógeno resultante se combina con el oxígeno del aire formando agua. Todo el funcionamiento es silencioso, fiable y no genera contaminación ni residuos.⁸⁴

Las pilas de combustible fueron inventadas en el siglo XIX, pero hasta hace poco no han sido producidas comercialmente (excepto para el programa espacial estadounidense) porque re-

sultaban muy caras y voluminosas. Requerían grandes cantidades de platino como catalizador, lo cual las hacía demasiado costosas para una producción en masa. Por otro lado, las pilas de combustible funcionan con hidrógeno, que existe en abundancia en la naturaleza, pero que tiene que ser separado del agua (H_2O) o del gas natural (CH_4) antes de que pueda ser utilizado como combustible. Eso no es técnicamente difícil, pero requiere una infraestructura específica que, en nuestra economía basada en los combustibles fósiles, nadie estaba interesado en desarrollar.

Esta situación cambió radicalmente en la década pasada. Los avances tecnológicos han permitido reducir drásticamente la cantidad de platino necesario como catalizador, e ingeniosas técnicas de «apilado» han hecho posible crear unidades compactas y de gran eficiencia, que serán fabricadas en los próximos años para suministrar electricidad a nuestros hogares, autobuses y automóviles.⁸⁵

Mientras varias empresas de diversos países pugnan por ser las primeras en producir comercialmente pilas de combustible para uso doméstico, una aventura compartida para crear la primera economía del hidrógeno del mundo ha sido puesta en marcha por el gobierno de Islandia junto con varias empresas de ese país.⁸⁶ Islandia utilizará sus inmensos recursos geotérmicos e hidroeléctricos para producir hidrógeno a partir de agua de mar, el cual será utilizado en pilas de combustible, primero en autobuses y luego en automóviles y barcos de pesca. El objetivo del gobierno islandés consiste en completar la transición al hidrógeno entre los años 2030 y 2040.

De momento, el gas natural es la fuente más común de hidrógeno, pero la separación del hidrógeno del agua con la ayuda de energías renovables (particularmente solar y eólica) constituirá, a largo plazo, el método más limpio y económico. Cuando eso suceda, habremos creado un sistema verdaderamente sostenible de generación de energía. Como sucede en los ecosistemas naturales, toda la energía que necesitemos será proporcionada por el Sol, ya sea por medio de dispositivos solares

a pequeña escala, ya sea distribuida en forma de hidrógeno, el recurso limpio definitivo, utilizado en las eficientes y fiables pilas de combustible.

HIPERCOCHES

El rediseño de automóviles podría muy bien ser la rama del ecodiseño con consecuencias industriales de mayor alcance. Como suele suceder en el ecodiseño, comenzó con el análisis de la ineficiencia de nuestros vehículos actuales, siguió con una dilatada investigación en busca de soluciones sistémicas y ecológicamente orientadas y terminó con unas ideas de diseño tan radicales que no sólo cambiarán la actual industria del automóvil hasta hacerla irreconocible, sino que podrían tener también consecuencias igualmente revolucionarias en las industrias vinculadas del petróleo, del acero y de la electricidad.

Como sucede con tantos otros productos del diseño industrial, el automóvil actual es pasmosamente ineficiente.⁸⁷ Tan sólo el veinte por ciento del combustible utilizado sirve para moverlo, mientras que el ochenta por ciento restante se pierde en calor y humo. Por otro lado, el noventa y cinco por ciento de la energía total empleada mueve al vehículo. Tan sólo el cinco por ciento restante mueve a quien lo ocupa. La eficiencia resultante, en términos de proporción de energía de combustible para desplazar al ocupante es, pues, el cinco por ciento del veinte por ciento en otras palabras, ¡un mero uno por ciento!

A principios de la década de los noventa, Amory Lovins, físico especializado en energía, junto con sus compañeros del Rocky Mountain Institute, se plantearon el reto de rediseñar por completo el automóvil actual, altamente ineficiente, sintetizando las ideas emergentes en un diseño conceptual al que pusieron por nombre «hipercoche». Este diseño combina tres elementos clave: los hipercoches son ultraligeros, pues pesan entre dos y tres veces menos que los automóviles actuales; tienen una aerodinámica muy superior a la de los vehículos con-

vencionales, lo que les permite desplazarse con mucha más facilidad, y están impulsados por un sistema «híbrido eléctrico», que combina un motor eléctrico de gasolina que produce electricidad para el motor del vehículo.

Cuando estos tres elementos se integran en un mismo diseño, ahorran del setenta al ochenta por ciento del combustible utilizado por un automóvil convencional, y, por otra parte, aumentan la comodidad y la seguridad del vehículo. Además de todo ello, este nuevo concepto de coche genera una serie de efectos adicionales sorprendentes, que prometen revolucionar no tan sólo la industria del automóvil, sino también el diseño industrial como un todo.⁸⁸

El punto de partida del concepto de hipercoche estriba en reducir la potencia necesaria para mover el vehículo. Puesto que tan sólo se utiliza el veinte por ciento de la energía del combustible para que un automóvil convencional se mueva, cualquier ahorro en la potencia necesaria para mover las ruedas tendrá como resultado un ahorro cinco veces superior en consumo de combustible. En el hipercoche este ahorro de potencia se consigue haciéndolo más ligero y aerodinámico. La carrocería convencional metálica es sustituida por otra fabricada a base de resistentes fibras de carbono embebidas en plásticos moldeables especiales. Combinaciones de diversas fibras proporcionan una gran flexibilidad de diseño, con el resultado final de reducir el peso de la carrocería a la mitad. Por otro lado, algunos simples detalles de diseño reducen su resistencia al aire entre un cuarenta y un sesenta por ciento, sin disminuir para nada la flexibilidad estilística. La combinación de ambas innovaciones puede reducir la potencia necesaria para mover al coche y a sus ocupantes en un cincuenta por ciento o más.

Convertir el vehículo en ultraligero genera una cascada de efectos secundarios, muchos de los cuales tienen como resultado reducciones adicionales de peso. Un coche más ligero necesita una suspensión más ligera para manejar un peso menor, menores frenos para desacelerarlo y menos cantidad de combustible para moverlo. Más aún, algunos elementos no sólo se reducen

de tamaño, sino que desaparecen. La dirección y los frenos asistidos ya no son necesarios en esta clase de vehículo. El automóvil híbrido eléctrico permite suprimir aún más elementos, como embrague, transmisión, palanca de cambios, etcétera, todo lo cual sigue reduciendo el peso del vehículo.

Los nuevos compuestos de fibras de carbono no sólo son mucho más ligeros, sino que son también extraordinariamente fuertes. Pueden absorber cinco veces más energía que el acero, lo cual constituye, obviamente, un aspecto importante para lo que a seguridad se refiere. Inspirándose en los coches de carreras, que también son ultraligeros y asombrosamente seguros, estos vehículos están diseñados para disipar de manera eficaz la energía de choque. Además de proteger de verdad a sus ocupantes, los vehículos ultraligeros son también mucho menos peligrosos en caso de choque.

Las diferencias entre las propiedades físicas del acero y de los compuestos de fibra de carbono afectan profundamente no sólo el diseño y el funcionamiento de los hipercoches, sino también su fabricación, su distribución y su mantenimiento. Aunque las fibras de carbono son más caras que el acero, el proceso de producción de carrocerías es mucho más barato. El acero tiene que ser prensado, soldado y acabado, mientras que las carrocerías plásticas con fibras de carbono salen del molde como elemento único y acabado, lo cual reduce los costes de manipulación y montaje en un noventa por ciento. El montaje del vehículo también se simplifica mucho, puesto que los componentes ligeros son fáciles de manejar y no necesitan elementos auxiliares de elevación. La pintura, una de las operaciones más caras y contaminantes de la fabricación de vehículos convencionales, puede ser totalmente eliminada incorporando el color y los acabados especiales al mismo proceso de moldeado.

Las múltiples ventajas de los compuestos de fibra se combinan para favorecer pequeños equipos de diseño, reducido número de unidades mínimas por modelo y fábricas locales, características todas ellas del ecodiseño en general. El mantenimiento de los hipercoches es también infinitamente más sencillo que el de

los vehículos con carrocería de acero, habida cuenta de que se eliminan muchos de los mecanismos y componentes implicados en las averías más frecuentes. Por otro lado, las carrocerías de carbono y plástico, libres de fatiga y corrosión y prácticamente imposibles de abollar, pueden durar décadas hasta acabar siendo recicladas.

El motor híbrido eléctrico es otra de las innovaciones fundamentales de estos vehículos. Al igual que otros vehículos eléctricos, los hipercoches incorporan motores eléctricos eficientes, así como dispositivos para transformar la energía de frenado en electricidad, lo cual les confiere una capacidad adicional de ahorro de energía, pero, a diferencia de los primeros, los hipercoches no tienen baterías, que siguen siendo pesadas y de corta vida. En ellos la electricidad es generada por un pequeño motor, por una turbina o por una pila de combustible. Estos sistemas híbridos son de un tamaño reducido y, habida cuenta de que no están directamente acoplados al sistema de transmisión motriz, funcionan todo el tiempo muy próximos a sus condiciones óptimas, lo cual contribuye a la reducción general de consumo de combustible.

Los vehículos híbridos pueden utilizar gasolina o una serie de opciones más limpias, incluyendo combustibles procedentes de biomasa. Sin duda, el modo más limpio y eficiente de alimentar un automóvil híbrido eléctrico es usando hidrógeno, por medio de una pila de combustible. Un vehículo así no tan sólo funciona en silencio y sin contaminar, sino que se convierte también, de hecho, en una pequeña central eléctrica. Ésta es tal vez una de las implicaciones de mayor alcance del concepto de hipercoche. Cuando el vehículo está estacionado en el garaje de su propietario o en su lugar de trabajo —es decir, la mayor parte del tiempo—, puede seguir produciendo electricidad, que su propietario podría vender a la red general, con el consiguiente beneficio económico. Amory Lovins estima que semejante producción masiva de electricidad permitiría cerrar en un plazo relativamente breve las centrales térmicas y nucleares, habida cuenta de que la sustitución del parque automovilístico de los Estados Unidos por vehículos híbridos

eléctricos significaría una capacidad de producción de electricidad entre cinco y diez veces superior a la actual, dejar de depender del petróleo de la Organización de Países Exportadores de Petróleo (OPEP) y reducir en dos tercios las emisiones de CO₂ de los Estados Unidos.⁸⁹

Cuando concibió la idea del hipercoche, a principios de los noventa, Amory Lovins reunió un equipo técnico en su Rocky Mountain Institute para desarrollar la idea. A lo largo de los años siguientes ese equipo publicó numerosos documentos profesionales, seguidos en 1996 por un voluminoso informe titulado *Hypercars: Materials, Manufacturing, and Policy Implications*.⁹⁰ Para maximizar la competencia entre marcas, el equipo del hipercoche puso todas sus ideas a disposición del público y las compartió abiertamente con un par de docenas de fabricantes.

Esta estrategia tan poco convencional funcionó tal como estaba previsto y generó una competencia mundial feroz. Toyota y Honda fueron los primeros constructores en ofrecer vehículos híbridos eléctricos: el cinco plazas Toyota Prius y el dos plazas Honda Insight. Vehículos parecidos, con consumos de tres litros y medio han sido ensayados por General Motors, Ford y Daimler-Chrysler, y están ya en fase de preparación para la producción. Mientras tanto, Volkswagen vende ya en Europa un modelo con un consumo de tres litros por cien kilómetros, y planea lanzar en 2003 al mercado estadounidense otro con un consumo de un litro por cien kilómetros. Por su parte, otros ocho grandes constructores tienen prevista la producción de vehículos alimentados con pilas de combustible entre los años 2003 y 2005.⁹¹

Para incrementar aún más la presión competitiva, el Rocky Mountain Institute creó una empresa independiente, Hypercar Inc., con el objetivo de diseñar el primer hipercoche incondicional, supereficiente y fabricable del mundo.⁹² El diseño de ese prototipo quedó concluido en noviembre de 2000, y ocupó la portada de *The Wall Street Journal* dos meses después.⁹³ Se trata de un vehículo utilitario/deportivo espacioso, de tamaño medio, con un consumo de combustible de un litro y medio por cien ki-

lómetros, que circulará silenciosamente con cero emisiones de gases y una autonomía de quinientos treinta kilómetros impulsado por la electricidad generada por una pila de combustible alimentada por tres kilos y medio de hidrógeno comprimido en tanques ultraseguros. El prototipo cumple con los estrictos estándares de la industria automovilística y se entregará con una garantía de trescientos cincuenta mil kilómetros. Lovins y sus compañeros esperan haber producido numerosos prototipos para finales de 2002. Si lo consiguen, habrán demostrado que el concepto de hipercoche puede ser una realidad comercial.

En la actualidad la revolución del hipercoche está en marcha. Cuando los modelos de las principales marcas ahora en producción ocupen los escaparates de los concesionarios la gente los comprará no tan sólo para ahorrar energía y proteger el medio, sino, simplemente, porque estos modelos ultraligeros, seguros, no contaminantes, silenciosos y supereficientes serán coches mejores. La gente se pasará a ellos del mismo modo que se pasó de la máquina de escribir al ordenador y de los discos de vinilo a los compactos. Llegará el día en que los automóviles de acero que aún circulen por nuestras carreteras sean piezas de coleccionista como Jaguar, Porsche, Alfa Romeo y algunos otros modelos deportivos.

Puesto que la industria del automóvil es la más grande del mundo, seguida por la del petróleo, la revolución del hipercoche tendrá un profundo impacto sobre toda la producción industrial. Los hipercoches son un excelente ejemplo de la economía de servicio y flujo postulada por los ecodiseñadores a gran escala. Lo más probable es que sean alquilados en vez de vendidos, al menos mientras se desarrolla la necesaria infraestructura para abastecerlos de hidrógeno. Sus materiales reciclables circularán en ciclos cerrados, con toxicidades cuidadosamente controladas y cada vez más reducidas. El cambio radical del acero a las fibras de carbono y del petróleo al hidrógeno hará que las actuales industrias del acero y el petróleo, y las demás relacionadas con ellas, sean sustituidas por procesos de producción radicalmente diferentes, sostenibles y benignos para el medio ambiente.

La mayoría de los vehículos híbridos hoy en producción no están aún alimentados por pilas de combustible, debido a que éstas son todavía muy caras y no hay suficiente hidrógeno. El volumen de producción necesario para que su precio sea accesible será consecuencia, probablemente, de su utilización en edificios. Como ya he dicho, está en marcha una competencia feroz para la producción comercial de pilas de combustible de uso residencial. Hasta que el hidrógeno pueda ser distribuido fácilmente a domicilio, esos sistemas domésticos incluirán procesadores de combustible para extraer hidrógeno del gas natural. De este modo las redes actuales de distribución de gas natural podrán ser utilizadas no tan sólo para el uso directo del gas, sino también para producir electricidad. Amory Lovins estima que la electricidad generada por esas pilas de combustible podrá competir ventajosamente con la producida por las centrales térmicas y nucleares, habida cuenta de que no tan sólo será producida a menor coste, sino que prescindirá de las redes eléctricas de distribución a larga distancia y de sus considerables caídas de tensión.⁹⁵

Paul Hawken y Hunter y Amory Lovins plantean un escenario para la transición a la economía del hidrógeno en el que los primeros vehículos de pila de combustible serán alquilados a personas que vivan cerca de las plantas de extracción de hidrógeno a partir del gas natural.⁹⁶ El hidrógeno sobrante producido por esas plantas en horas de poco consumo será distribuido a estaciones de aprovisionamiento de hipercoches. A medida que el mercado del hidrógeno se vaya ampliando con el uso de pilas de combustible en viviendas, fábricas y vehículos, se irá haciendo más atractiva la producción de hidrógeno más centralizada y su distribución por redes.

Al principio el hidrógeno será también producido a partir del gas natural, utilizando una técnica que reintroduce el CO₂ resultante del proceso en los yacimientos subterráneos de gas. De este modo los abundantes recursos existentes de gas natural

podrán ser utilizados para producir hidrógeno sin alterar el clima del planeta. Llegado el momento, el hidrógeno podrá ser separado del agua con la ayuda de las energías renovables procedentes del Sol y del viento.

A medida que vaya progresando la transición hacia la economía del hidrógeno, su eficiencia energética superará la derivada de la producción de petróleo con tanta rapidez, que incluso un petróleo barato dejará de ser competitivo y, por consiguiente, su extracción ya no será rentable. Como señalan Hunter y Amory Lovins, la Edad de Piedra no terminó porque se acabaran las piedras.⁹⁷ La Era del Petróleo no terminará porque se acabe el petróleo, sino porque habremos desarrollado unas tecnologías superiores.

POLÍTICAS DE ECODISEÑO

Los numerosos proyectos de ecodiseño enumerados en las páginas precedentes proporcionan una evidencia irrefutable de que la transición hacia un futuro sostenible no es ya un problema técnico ni conceptual, sino que es una cuestión de valores y de voluntad política. Según el Worldwatch Institute, las políticas necesarias para apoyar al ecodiseño y al cambio hacia la energía renovable incluyen «una mezcla de libre mercado y regulación, con impuestos medioambientales que corrijan las distorsiones del mercado, subvenciones temporales que permitan la entrada en el mercado de las energías renovables y la retirada de las subvenciones ocultas a las fuentes convencionales».⁹⁸

La retirada de subsidios ocultos —o «subsidios perversos», como prefiere denominarlos el conservacionista Norman Myers—⁹⁹ es particularmente urgente. Hoy día los gobiernos de los países industrializados utilizan inmensas sumas del dinero de sus contribuyentes para subvencionar industrias y prácticas corporativas perniciosas. Los numerosos ejemplos que presenta Myers en su esclarecedor libro *Perverse Subsidies* incluyen los miles de millones de dólares pagados por Alemania como subvención a las

centrales eléctricas térmicas de carbón del Valle del Ruhr, tremendamente dañinas, los subsidios que el gobierno de los Estados Unidos paga a su industria automovilística, que estuvo bajo la protección del Estado durante la mayor parte del siglo XX, los subsidios pagados a la agricultura por la OCDE, que ascienden a trescientos mil millones de dólares al año y que se pagan a los agricultores para que *no* produzcan alimentos, aunque cada año mueran más de treinta millones de personas de hambre en el mundo y otros ochocientos millones pasen hambre, así como los millones de dólares que el gobierno estadounidense paga a los cultivadores de tabaco aunque su consumo produzca enfermedades y muerte.

Sin duda alguna, todo eso son subsidios perversos. Son modalidades poderosas de beneficencia corporativa que envían señales engañosas a los mercados. Los subsidios perversos no son contabilizados oficialmente por ningún gobierno del mundo. Al mismo tiempo que apoyan la falta de equidad y la degradación medioambiental, esas prácticas gubernamentales hacen aparecer a las empresas sostenibles y promotoras de la vida como antieconómicas. Es hora ya de que se eliminen esas formas inmorales de apoyo gubernamental.

Otra señal errónea que el gobierno manda al mercado proviene de los impuestos que recauda, los cuales, en la actualidad, están fuertemente distorsionados. Los sistemas fiscales existentes gravan aquello que valoramos —trabajo, ahorros, inversiones— y no gravan aquello que consideramos dañino: contaminación, degradación medioambiental, agotamiento de recursos, etcétera. Al igual que sucede con los subsidios perversos, esa práctica transmite a los inversores informaciones erróneas sobre los costes reales. Es necesario invertir el sistema: en lugar de gravar con impuestos los ingresos y las nóminas, debemos comenzar a gravar los recursos no renovables —en particular los energéticos— y las emisiones de carbono.¹⁰⁰

A efectos de volumen de recaudación, este cambio de política fiscal —conocido antes como «reforma fiscal ecológica» y ahora, simplemente, como «cambio fiscal»— sería estrictamente

neutral para los gobiernos. Los nuevos impuestos serían añadidos a los productos, modalidades de energía, servicios y materiales existentes, de modo que sus precios reflejaran mejor sus costes reales, al mismo tiempo que cantidades equivalentes serían rebajadas de los impuestos sobre el trabajo y los ingresos.

Para tener éxito, el cambio fiscal debe ser un proceso lento, gradual y a largo plazo, de modo que dé tiempo suficiente para que las nuevas tecnologías y los patrones de consumo se vayan adaptando. Deberá ser implantado de forma predecible, de modo que estimule la innovación industrial. Un cambio fiscal de esas características, progresivo, a largo plazo y predecible, iría dejando fuera del mercado a las industrias, las tecnologías y los patrones de consumo perjudiciales.

A medida que los precios de la energía fueran subiendo, junto con las correspondientes reducciones de impuestos sobre los ingresos para equilibrar el aumento, las personas irían cambiando gradualmente de coches convencionales a vehículos híbridos, al uso de la bicicleta y del transporte público, y a compartir coches comunitarios en sus desplazamientos al lugar de trabajo. A medida que asciendan los impuestos sobre productos y combustibles derivados del petróleo, siempre con sus correspondientes reducciones fiscales sobre los ingresos, la agricultura orgánica no sólo será el medio más sano de producir alimentos, sino también el más barato. El cambio fiscal creará poderosos incentivos para la adopción corporativa de estrategias de ecodiseño, habida cuenta de que sus efectos beneficiosos —incremento de la productividad de los recursos, reducción de la contaminación, eliminación de residuos y creación de puestos de trabajo— redundarán también en beneficios fiscales.

Diversos países europeos, entre ellos Alemania, Italia, los Países Bajos y algún país escandinavo, han iniciado ya proyectos de cambio fiscal. Otros países no van a tardar en seguir su ejemplo. De hecho, Jacques Delors, ex presidente de la Comisión Europea, apremia a los gobiernos europeos a que lo hagan a nivel de la Unión. Cuando eso suceda, los Estados Unidos se verán obligados a seguir la corriente para que sus empresas no

pierdan competitividad, habida cuenta de que el cambio fiscal rebajará los costes laborales de sus competidoras europeas al mismo tiempo que estimulará la innovación.

Los impuestos que los ciudadanos pagan en una sociedad reflejan, en última instancia, los valores de ésta. Por consiguiente, el cambio a una fiscalidad que estimule la creación de puestos de trabajo, la revitalización de las comunidades locales, la conservación de los recursos naturales y la eliminación de la contaminación reflejará los valores fundamentales de dignidad humana y sostenibilidad ecológica subyacentes tras los principios del ecodiseño y del movimiento global para la remodelación de la globalización. A medida que, en la sociedad civil global emergente, las ONG vayan depurando su conceptualización de las alternativas al capitalismo global y la comunidad del ecodiseño perfeccione sus principios, sus procesos y sus tecnologías, el cambio fiscal será la política que establezca la conexión entre ambos movimientos y les dé sostén, puesto que reflejará los valores fundamentales que ambos comparten.

EPÍLOGO: APLICAR EL SENTIDO COMÚN

Mi objetivo al escribir este libro ha sido desarrollar un marco conceptual que integre las dimensiones biológicas, cognitivas y sociales de la vida, un marco que nos capacite para adoptar un enfoque sistémico frente a algunas de las cuestiones críticas de nuestros días. El análisis de los sistemas vivos en términos de nuestras perspectivas interconectadas –forma, materia proceso y significado– hace posible aplicar una comprensión unificada de la vida a fenómenos correspondientes tanto al reino de la materia como al ámbito del significado. Hemos visto, por ejemplo, que las redes metabólicas de los sistemas biológicos se corresponden con las redes de comunicación de los sistemas sociales, que los procesos químicos productores de estructuras materiales se corresponden con los procesos del pensamiento que producen estructuras semánticas, y que los flujos de materia y energía se corresponden con los flujos de ideas e información.

Uno de los conceptos fundamentales de esta comprensión sistémica y unificada de la vida consiste en que su patrón básico de organización es la red. A todos los niveles de la vida –desde las redes metabólicas de la célula hasta las redes tróficas de los ecosistemas y las redes de comunicaciones de las sociedades humanas– los componentes de los sistemas vivos están interconectados en forma de red. En particular, hemos visto que, en nuestra Era de la Información, las funciones y los procesos sociales están crecientemente organizados en torno a re-

des. Tanto si observamos a las corporaciones como si analizamos los mercados financieros, los medios de comunicación o las nuevas ONG globales, vemos que el trabajo en red se ha convertido en un fenómeno social importante y en una fuente de poder crítica.

A medida que el nuevo siglo vaya avanzando, los mayores impactos sobre el bienestar y las formas de vivir de la humanidad dependerán del auge de dos fenómenos. Ambos están relacionados con redes, ambos están relacionados con tecnologías radicalmente nuevas. Uno es el auge del capitalismo global, el otro es la creación de comunidades sostenibles, basadas en la alfabetización ecológica y en la práctica del ecodiseño. Mientras que el capitalismo global maneja redes electrónicas de flujos financieros y de información, el ecodiseño trabaja con redes ecológicas de flujos de materia y energía. El objetivo de la economía globalizada consiste en maximizar la riqueza y el poder de sus élites, mientras que el del ecodiseño consiste en maximizar la sostenibilidad de la trama de la vida.

Estos dos escenarios –cada uno de ellos con sus redes complejas y sus tecnologías específicas de vanguardia– están hoy en camino de chocar. Ya hemos visto que la forma presente de capitalismo global es ecológica y socialmente insostenible. El denominado «mercado global» es, en realidad, una red de máquinas programadas de acuerdo con el principio fundamental de que ganar dinero tiene que primar sobre los derechos humanos, la democracia, la protección del medio ambiente o cualquier otro valor.

Sin embargo, los valores humanos no son leyes naturales y pueden cambiar. Las mismas redes electrónicas de flujos financieros y de información *podrían* tener incorporada otra serie de valores. La cuestión central no es de índole tecnológica, sino política. El gran reto del siglo XXI será el cambio del sistema de valores que subyace en la economía global, de modo que se convierta en compatible con los imperativos de dignidad humana y sostenibilidad ecológica. De hecho, como hemos visto, este proceso de remodelación de la globalización ya ha comenzado.

Uno de los grandes obstáculos en el camino hacia la sostenibilidad consiste en el crecimiento continuo del consumo material. A pesar de todo el énfasis de la nueva economía en el procesado de información, la generación de conocimiento y demás intangibles, el objetivo principal de todas esas innovaciones sigue siendo el incremento de la productividad que, en última instancia, se traduce en el aumento del flujo de bienes materiales. Incluso aunque Cisco Systems u otras empresas de Internet manejen información y conocimiento experto sin fabricar realmente ningún producto físico, sus proveedores y subcontratistas sí que los fabrican. Es más, muchos de ellos –particularmente en el Sur– operan con un considerable impacto medioambiental. Como señala irónicamente Vandana Shiva: «Los recursos van de los pobres a los ricos, la contaminación va de los ricos a los pobres.»¹

Por otro lado, diseñadores de software, analistas financieros, abogados, banqueros inversores y demás profesionales que se han hecho muy ricos en la economía «no material» tienden a hacer gala de su riqueza con su ostensible nivel de consumo. Sus casas enormes, ubicadas en lujosas zonas residenciales, rebosan de los últimos adelantos mientras que sus garajes albergan dos o tres coches por cada miembro de la familia. El biólogo y medioambientalista David Suzuki señala que, en los últimos cuarenta años, el tamaño de las familias canadienses se ha reducido a la mitad, pero el de sus casas se ha duplicado. «Las personas necesitan cuatro veces más espacio», explica Suzuki, «debido a lo mucho que compran.»²

En la sociedad capitalista contemporánea el valor fundamental de ganar dinero va de la mano con la glorificación del consumo material. Un torrente incesante de mensajes publicitarios refuerza en el público la ilusión de que la acumulación de bienes materiales es el camino directo hacia la felicidad, el verdadero propósito de nuestras vidas.³ Los Estados Unidos de América proyectan su tremendo poder al resto del mundo, con el objetivo de mantener a toda costa las condiciones óptimas para la perpetuación y la exacerbación de la producción. La meta prin-

cial de este vasto imperio –con su abrumadora superioridad militar, su impresionante panoplia de servicios de inteligencia y su posición dominante en ciencia, tecnología, medios de comunicación y entretenimiento– no consiste en expandir su territorio, ni en promover la libertad y la democracia, sino en garantizarse el libre acceso a los recursos naturales y la apertura total de los mercados mundiales a sus productos.⁴ Consecuentemente, la retórica política estadounidense pasa con facilidad de la «libertad» al «libre comercio» y a los «mercados libres». La libertad de movimiento de bienes y capitales se equipara al utópico ideal de libertad humana al mismo tiempo que la adquisición de bienes materiales se presenta como un derecho humano fundamental, o incluso casi como una obligación.

Esta glorificación del consumo material tiene unas profundas raíces ideológicas que van más allá de la economía y de la política. Sus orígenes parecen encontrarse en la asociación, común a las culturas patriarcales, de masculinidad con posesiones materiales. El antropólogo David Gilmore ha estudiado imágenes de masculinidad de todo el mundo –«ideologías masculinas», como él dice–, y ha descubierto sorprendentes similitudes interculturales.⁵ Está siempre presente el concepto recurrente de que la «verdadera masculinidad» difiere de la simple masculinidad biológica, de que es algo que hay que ganarse. En la mayoría de las culturas, como demuestra Gilmore, los muchachos «se tienen que ganar» el derecho a ser llamados hombres. A pesar de que también las mujeres son juzgadas según patrones sexuales a menudo exigentes, Gilmore señala que su status femenino es raramente cuestionado.⁶

Además de las bien conocidas imágenes de masculinidad, tales como fuerza física, rudeza y agresividad, Gilmore descubrió que, cultura tras cultura, los hombres «de verdad» eran tradicionalmente los que producían más que lo que consumían. El autor subraya que la ancestral asociación de masculinidad con producción material significaba producción en beneficio de la comunidad: «Una y otra vez vemos que los “verdaderos” hombres son aquellos que dan más de lo que toman, los que

sirven a los demás. Los hombres de verdad son generosos hasta en demasía.»⁷

Con el paso del tiempo esta imagen fue cambiando, y de la producción por el bien de los demás se pasó a la posesión material por el propio interés. La masculinidad pasó a medirse en términos de posesión de bienes valiosos –tierra, ganado o dinero–, así como en términos de poder sobre otros, particularmente, mujeres y niños. Esta imagen quedó reforzada por la asociación universal de masculinidad con «tamaño», medido en fuerza muscular o número de posesiones. En la sociedad moderna –señala Gilmore– el «tamaño» del macho humano se mide cada vez más por su acumulación de bienes materiales: «El Gran Hombre de la sociedad industrial es también el más rico del barrio, el que tiene más éxito, el más competente [...] El que más tiene de lo que la sociedad necesita o anhela.»⁸

La asociación de masculinidad con acumulación de posesiones encaja a la perfección con otros valores favorecidos y recompensados en las culturas patriarcales: expansión, competición y «consciencia centrada en el objeto». En la cultura tradicional china estos valores recibían el apelativo de *yang* y se asociaban con el lado masculino de la naturaleza humana.⁹ No se consideraban intrínsecamente buenos o malos. Sin embargo, según la sabiduría china, los valores *yang* necesitaban ser equilibrados con sus correspondientes opuestos *yin* o femeninos: expansión con conservación, competición con cooperación y atención al objeto con atención a las relaciones. Vengo argumentando desde hace mucho que el movimiento hacia este equilibrio es muy coherente con el cambio de pensamiento mecanicista a pensamiento sistémico y ecológico de nuestros tiempos.¹⁰

Entre los numerosos movimientos de base que trabajan actualmente por el cambio social, el movimiento feminista y el movimiento ecologista son los que abogan por los cambios de valores más profundos, el primero a través de una redefinición de las relaciones entre los sexos, y el segundo formulando una nueva definición de las relaciones entre humanidad y naturaleza.

za. Ambos pueden contribuir significativamente a la superación de nuestra obsesión por el consumo material.

Con su desafío del orden y del sistema de valores del patriarcado, el movimiento feminista ha introducido una nueva comprensión de la masculinidad y de la persona que no necesita ya asociar la masculinidad con las posesiones materiales. En su nivel más profundo, la visión feminista se basa en el conocimiento femenino, basado en la propia experiencia, de que todo lo vivo está conectado, de que nuestra existencia está siempre inmersa en los procesos cíclicos de la naturaleza.¹¹ Por consiguiente, la conciencia feminista busca la plenitud en el cultivo de las relaciones personales, más que en la acumulación de bienes materiales.

El movimiento ecologista llega a la misma posición desde otro enfoque. La alfabetización ecológica requiere del pensamiento sistémico —pensar en términos de relaciones, contexto, patrones y procesos—, los ecodiseñadores postulan la transición desde una economía de bienes a una economía de servicios y flujos. En una economía de estas características la materia circula constantemente, de modo que el consumo neto de materias primas se reduce de manera drástica.

Como hemos visto, una economía de servicios y flujos —o de cero emisiones— es también excelente para los negocios. A medida que los residuos se convierten en recursos, se crean nuevas fuentes de ingresos y nuevos productos y la productividad aumenta. Mientras que es inevitable que la extracción de recursos y la acumulación de residuos alcancen sus límites ecológicos, la evolución de la vida ha demostrado durante más de tres mil millones de años que, en el hogar Tierra sostenible, no hay límites para el desarrollo, la diversificación y la creatividad.

Además de incrementar la productividad de los recursos y de reducir la contaminación, la economía de cero emisiones aumenta también las oportunidades de empleo y revitaliza las comunidades locales. Así pues, la acentuación de la visión feminista y el movimiento hacia la sostenibilidad ecológica se combinarán para alumbrar un cambio profundo de valores y pensamiento: de los sistemas lineales de extracción de recursos y

acumulación de bienes y residuos a flujos cíclicos de materia y energía; de la atención al objeto y a los recursos naturales al interés por los servicios y los recursos humanos; de la búsqueda de la felicidad por medio de posesiones materiales a su hallazgo en relaciones personales. En las elocuentes palabras de David Suzuki:

Familia, amigos, comunidad: éstas son las fuentes del amor y la alegría más grandes que podemos experimentar como humanos. Visitamos a los familiares, mantenemos el contacto con nuestros profesores preferidos, compartimos e intercambiamos cumplidos con nuestros amigos. Nos implicamos en proyectos difíciles para ayudar a otras personas, salvamos ranas o protegemos bosques y, al hacerlo, descubrimos inmensas satisfacciones. Encontramos plenitud espiritual en la naturaleza o ayudando a otros. Ninguno de esos placeres necesita el consumo material de los bienes de la Tierra, y, sin embargo, cada uno de ellos es profundamente gratificante. Se trata de placeres complejos, que nos acercan mucho más a la verdadera felicidad que los placeres simples, como tomarse una Coca-Cola o comprarse el último monovolumen.¹²

La pregunta surge de forma natural: ¿disponemos del tiempo suficiente para que este profundo cambio de valores detenga e invierta la presente degradación de los recursos naturales, la extinción masiva de especies, la contaminación y el cambio climático? Los avances mencionados en las páginas precedentes no indican una respuesta clara a esta pregunta. Si extrapolamos hacia el futuro las tendencias medioambientales actuales, las perspectivas son alarmantes. Por otro lado, abundan los indicios que señalan que un número significativo, tal vez decisivo, de personas e instituciones en todo el mundo han iniciado ya la transición hacia la sostenibilidad ecológica. Muchos de mis compañeros en el movimiento ecologista comparten esta opinión, como dejan bien patente estas tres voces, representativas de otras muchas:¹³

Opino que existen hoy claros indicios de que el mundo parece estar aproximándose a una especie de cambio de paradigma en la concienciación medioambiental. En un amplio abanico de actividades, lugares e instituciones, la atmósfera ha cambiado notablemente estos últimos años.

LESTER BROWN

Tengo más esperanzas hoy que hace unos pocos años. Creo que la velocidad y la importancia de las cosas que van mejorando supera a la velocidad y la importancia de las que empeoran. Uno de los avances más esperanzadores es la cooperación entre Norte y Sur en la nueva sociedad civil global. Disponemos ahora de una experiencia mucho más rica que la que antes teníamos.

AMORY LOVINS

Soy optimista, porque la vida tiene sus propios medios para no extinguirse, y las personas también. Ellas continuarán la tradición de la vida.

VANDANA SHIVA

Sin duda, la transición hacia un mundo sostenible no será fácil. Para invertir la corriente no bastará con cambios graduales: serán también necesarias algunas grandes rupturas. La tarea parece abrumadora, pero no es imposible. De nuestra comprensión de los complejos sistemas biológicos y sociales hemos aprendido que las perturbaciones significativas pueden activar múltiples procesos de retroalimentación que, a su vez, pueden conducir a una rápida emergencia de orden nuevo. La historia reciente nos ofrece algunos ejemplos notables de esas transformaciones espectaculares, desde la caída del Muro de Berlín y la Revolución de Terciopelo en Europa al fin del apartheid en Sudáfrica.

Por otro lado, la teoría de la complejidad también nos dice que esa clase de puntos de inestabilidad suele conducir más

bien a desmoronamientos que a avances. Así pues, ¿qué futuro cabe esperar para la humanidad? En mi opinión, la respuesta más inspiradora a esta duda existencial procede de una de las figuras clave de las recientes y espectaculares transformaciones sociales, el gran dramaturgo y hombre de estado checo Václav Havel, que convierte esa pregunta en una meditación de esperanza:

La esperanza que me invade a menudo [...] Para mí es, más que nada, un estado de la mente; no la veo como un estado del mundo. O tenemos la esperanza dentro de nosotros, o carecemos de ella. Es una dimensión del alma, y no depende, en esencia, de ninguna observación concreta del mundo ni de ninguna estimación objetiva de la situación. [...] [La esperanza] no es la convicción de que algo va a salir bien, sino de que tiene sentido, sea cual fuere el resultado final.¹⁴

NOTAS

PREFACIO

1. Václav Havel, presidente de la República Checa, en el discurso inaugural de la Conferencia del Fórum 2000 en Praga, 15 de octubre de 2000.

I. LA NATURALEZA DE LA VIDA

1. El siguiente resumen ha sido inspirado por Luisi (1993) y las estimulantes correspondencia y discusiones científicas mantenidas por el autor del presente libro.

2. Ver Capra (1996), pág. 257 y ss.; ver también pág. 88 y ss. del presente libro.

3. Ver págs. 38-40.

4. Algunas partes de las células, como las mitocondrias y los cloroplastos, fueron antes bacterias independientes que invadieron a células mayores, y evolucionaron luego junto con ellas para formar nuevos organismos compuestos; ver Capra (1996), pág. 231. Estos orgánulos siguen reproduciéndose con independencia del resto de la célula, pero no pueden hacerlo sin funcionar con ella de una manera integrada, por lo que ya no cabe considerarlos sistemas vivos autónomos; ver Morowitz (1992), pág. 231.

5. Ver Morowitz (1992), pág. 59 y ss.

6. *Ibid.*, pág. 66 y ss.

7. *Ibíd.*, pág. 54.
8. Ver Lovelock (1991); Capra (1996), pág. 100 y ss.
9. Morowitz (1992), pág. 6.
10. Ver *The New York Times*, 11 de julio de 1997.
11. Luisi (1993).
12. Ver págs. 47-50.
13. Margulis, comunicación personal, 1998.
14. Ver, por ejemplo, Capra (1996), pág. 165.
15. Margulis, comunicación personal, 1998.
16. Ver Capra (1996), pág. 280.
17. Margulis (1998a), pág. 63.
18. De esta producción quedan excluidos los componentes primarios como el oxígeno, el agua y el dióxido de carbono, así como las moléculas de alimento que penetran en la célula.
19. Ver Capra (1996), pág. 97 y ss.
20. Ver Luisi (1993).
21. *Ibíd.*
22. *Ibíd.*
23. Ver Morowitz (1992), pág. 99.
24. Ver Capra (1996), pág. 165.
25. Ver Capra (1996), pág. 132.
26. Goodwin (1994), Stewart (1998).
27. Stewart (1998), pág. XII.
28. Para un análisis más extenso del determinismo genético, ver págs. 217-226.
29. Margulis, comunicación personal, 1998.
30. Ver Capra (1996), pág. 86 y ss.
31. Resulta interesante observar que «complejidad» procede etimológicamente del latín *complecti* («entrelazar») y *complexus* («red»). Así pues, la idea de no linealidad –de una red de fibras entrelazadas– subyace en el propio significado de «complejidad».
32. Brian Goodwin, comunicación personal, 1998.
33. Ver Capra (1996), pág. 86.
34. Ver Margulis y Sagan (1995), pág. 57.
35. Luisi (1993).
36. Ver Capra (1996), págs. 92-94.
37. Ver Gesteland, Cech y Atkins (1999).
38. Ver Gilbert (1986).
39. Szostak, Bartel y Luisi (2001).
40. Luisi (1998).
41. Morowitz (1992).
42. *Ibíd.*, pág. 154.
43. *Ibíd.*, pág. 44.
44. Ver *ibíd.*, págs. 107-108.
45. *Ibíd.*, págs. 174-175.
46. *Ibíd.*, págs. 92-93.
47. Ver págs. 56-57.
48. Ver Morowitz (1992), pág. 154.
49. *Ibíd.*, pág. 9.
50. *Ibíd.*, pág. 96.
51. Luisi (1993 y 1996).
52. Ver Fischer, Oberholzer y Luisi (2000).
53. Ver Morowitz (1992), págs. 176-177.
54. Pier Luigi Luisi, comunicación personal, enero de 2000.
55. Ver Capra (1996), págs. 88-89, 92 y ss.
56. Morowitz (1992), pág. 171.
57. Ver *ibíd.*, pág. 119 y ss.
58. *Ibíd.*, págs. 137, 171.
59. *Ibíd.*, pág. 88.
60. Ver Capra (1996), pág. 228 y ss.
61. Sin embargo, investigaciones recientes en genética parecen indicar que el porcentaje de mutaciones no es una mera cuestión de azar, sino que está regulado por la red epigenética de la célula; ver págs. 214-216.
62. Margulis (1998b).
63. Margulis, comunicación personal, 1998.
64. Ver Sonea y Panisset (1993).
65. Ver Capra (1996), pág. 230 y ss.
66. Margulis (1998a), pág. 63.
67. Margulis y Sagan (1997).
68. Ver Gould (1994).
69. Margulis (1998a), pág. 8.

1. Revonsuo y Kamppinen (1994), pág. 5.
2. Ver Capra (1996), págs. 96-97 y 173-174.
3. Ver *ibíd.*, pág. 266 y ss.
4. Ver Capra (1982), págs. 169-170.
5. Ver Varela (1996a), Tonioni y Edelman (1998).
6. Ver, por ejemplo, Crick (1994), Dennet (1991), Edelman (1989), Penrose (1994); *Journal of Consciousness Studies*, vols. 1-6, 1994-1999; II Conferencia de Tucson, «Toward a Science of Consciousness», Tucson, Arizona, 13-17 de abril de 1996.
7. Ver Edelman (1992), págs. 122-123.
8. Ver *ibíd.*, pág. 112.
9. Ver Searle (1995).
10. Ver Chalmers (1995).
11. Ver Capra (1996), pág. 24 y ss.
12. Varela (1999).
13. Ver Varela y Shear (1999).
14. Ver *ibíd.*
15. Ver Varela (1996a).
16. Ver Churchland y Sejnowski (1992), Crick (1994).
17. Crick (1994), pág. 3.
18. Searle (1995).
19. Ver *ibíd.*, Varela (1996a).
20. Dennet (1991).
21. Ver Edelman (1992), pág. 220 y ss.
22. Ver McGinn (1999).
23. Varela (1996a).
24. Capra (1988), pág. 138.
25. *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, 1999.
26. Ver Vermersch (1999).
27. Ver *ibíd.*
28. Ver Varela (1996a), Depraz (1999).
29. Ver Shear y Jevning (1999).
30. Ver Wallace (1999).
31. Ver Varela *et al.* (1991), Shear y Jevning (1999).
32. Penrose (1999); ver también Penrose (1994).
33. Edelman (1992), pág. 211.
34. Ver, por ejemplo, Searle (1984), Edelman (1992), Searle (1995), Varela (1996a).
35. Varela (1995), Tonioni y Edelman (1998).
36. Tonioni y Edelman (1998).
37. Ver Varela (1995); ver también Capra (1996), págs. 292-293.
38. Ver Varela (1996b).
39. Ver Varela (1996a), Varela (1999).
40. Ver Tonioni y Edelman (1998).
41. Ver Edelman (1989 y 1992).
42. Ver págs. 65-66; ver también Capra (1996), pág. 275 y ss.
43. Núñez (1997).
44. Maturana (1970), Maturana y Varela (1987), pág. 205 y ss.; ver también Capra (1996), pág. 287 y ss.
45. Ver págs. 56-58.
46. Ver Maturana (1995).
47. Maturana (1998).
48. Maturana y Varela (1987), pág. 245.
49. Fouts (1997).
50. *Ibíd.*, pág. 57.
51. Ver Wilson y Reeder (1993).
52. Ver Fouts (1997), pág. 365.
53. *Ibíd.*, pág. 85.
54. Ver *ibíd.*, pág. 74 y ss.
55. *Ibíd.*, págs. 72, 88.
56. *Ibíd.*, págs. 302-303.
57. Ver *ibíd.*, pág. 191.
58. Kimura (1976); ver también Iverson y Thelen (1999).
59. Fouts (1997), págs. 190-191.
60. Ver *ibíd.*, págs. 193-195.
61. Ver *ibíd.*, pág. 184 y ss.
62. *Ibíd.*, pág. 192.
63. *Ibíd.*, pág. 197.
64. Ver Johnson (1987), Lakoff (1987), Varela *et al.* (1991), Lakoff y Johnson (1999).
65. Lakoff y Johnson (1999).

66. *Ibíd.*, pág. 4.
67. Ver Lakoff (1987).
68. Ver *ibíd.*, pág. 24 y ss.
69. Lakoff y Johnson (1999), págs. 34-35.
70. Ver *ibíd.*, págs. 380-381.
71. Ver *ibíd.*, pág. 45 y ss.
72. Ver *ibíd.*, pág. 46.
73. Ver *ibíd.*, pág. 60 y ss.
74. *Ibíd.*, pág. 3.
75. *Ibíd.*, pág. 551.
76. Searle (1995).
77. Lakoff y Johnson (1999), pág. 4.
78. Ver págs. 32-34.
79. Ver págs. 58-59.
80. Steindl-Rast (1990).
81. Ver Capra y Steindl-Rast (1991), págs. 14-15.

3. LA REALIDAD SOCIAL

1. Ver Capra (1996), pág. 157 y ss.
2. La emergencia del concepto de *patrón de organización* y su posterior perfeccionamiento han constituido elementos cruciales en el pensamiento sistémico. En su teoría de la autopoiesis Maturana y Varela distinguen claramente entre la *organización* de un sistema vivo y su *estructura*. Prigogine acuñó el término «*estructura disipativa*», precisamente, para denotar la física y la química de los sistemas abiertos que operan lejos del equilibrio. Ver Capra (1996), págs. 17 y ss., 88-89 y 98.
3. Ver págs. 32-34.
4. Ver Searle (1984), pág. 79.
5. Mi agradecimiento a Otto Scharmer por hacérmelo ver.
6. Ver, por ejemplo, Windelband (1901), pág. 139 y ss.
7. Para un conciso resumen de la teoría social del siglo XX, ver Baert (1998), en quien las siguientes páginas se basan en gran medida.
8. Ver págs. 117-118.

9. Ver Baert (1998), pág. 92 y ss.
10. Ver *ibíd.*, págs. 103-104.
11. *Ibíd.*, pág. 134 y ss.
12. Ver, por ejemplo, Held (1990).
13. Ver Capra (1996), págs. 211-212.
14. Ver Luhmann (1990); ver también Medd (2000) para una extensa revisión de la teoría de Luhmann.
15. Ver págs. 145-148.
16. Luhmann (1990).
17. Ver Searle (1984), pág. 95 y ss.
18. Ver pág. 62.
19. Ver Williams (1981).
20. Galbraith (1984); fragmentos reimpresos como «Power and Organization» en Lukes (1986).
21. Ver nota 20.
22. Ver David Steindl-Rast en Capra y Steindl-Rast (1991), pág. 190.
23. Galbraith, ver nota 20.
24. Citado en Lukes (1986), pág. 28.
25. *Ibíd.*, pág. 62.
26. Las complejas interacciones entre estructuras organizativas formales y redes informales de comunicación, que existen dentro de toda organización, se analizan con cierto detalle más adelante; ver págs. 150-153.
27. Castells, *comunicación personal*, 1999.
28. Ver pág. 88 y ss.
29. Ver pág. 62.
30. Ver, por ejemplo, Fischer (1985).
31. Castells (2000b); para referencias sobre definiciones parecidas de Harvey Brooks y Daniel Bell, ver Castells (1996), pág. 30.
32. Ver págs. 88-91.
33. Ver Capra (1996), pág. 29.
34. Ver Kranzberg y Pursell (1967).
35. Ver Morgan (1998), pág. 270 y ss.
36. Ver Ellul (1964), Winner (1977), Mander (1991), Postman (1992).
37. Kranzberg y Pursell (1967), pág. 11.

4. VIDA Y LIDERAZGO EN LAS ORGANIZACIONES

1. Ver pág. 269 y ss.
2. Ver Wheatley y Kellner-Rogers (1998).
3. Mi comprensión de la naturaleza de las organizaciones humanas, así como de la importancia de la visión sistémica de la vida para el cambio organizativo, ha sido modelada de forma decisiva por la extensa colaboración con Margaret Wheatley y Myron Kellner-Rogers, con quienes dirigí una serie de seminarios sobre sistemas autoorganizadores en Sundance, Utah, en los años 1996 y 1997.
4. Ver págs. 32-34.
5. Wheatley y Kellner-Rogers (1998).
6. Ver Castells (1996), pág. 17; ver también pág. 153 y ss. del presente libro.
7. Ver Chawla y Renesch (1995), Nonaka y Takeuchi (1995), Davenport y Prusak (2000).
8. Ver págs. 35 y 62.
9. Ver págs. 108-111.
10. Ver De Geus (1997a), pág. 154.
11. Block (1993), pág. 5.
12. Morgan (1998), pág. xi.
13. Ver Capra (1982); Capra (1996), pág. 19 y ss.
14. Ver Morgan (1998), pág. 21 y ss.
15. Morgan (1998), págs. 27-28.
16. Senge (1996); ver también Senge (1990).
17. Senge (1996).
18. *Ibíd.*
19. De Geus (1997a).
20. Ver *ibíd.*, pág. 9.
21. *Ibíd.*, pág. 21.
22. *Ibíd.*, pág. 18. Es una verdadera lástima que Shell prestara, aparentemente, muy poca atención a esta exhortación precedente de uno de sus altos ejecutivos. Tras el desastre medio ambiental que provocó su extracción de petróleo en Nigeria a principios de los noventa y el subsiguiente y trágico asesinato de Ken Saro-Wiwa, junto con otros ocho luchadores por la libertad

del pueblo ogoni, tuvo lugar una investigación independiente, dirigida por el profesor Claude Aké, director del Centro de Estudios Sociales Avanzados de Nigeria. Según Aké, Shell continuó mostrando la misma actitud insensible y arrogante típica de las multinacionales petroleras. Aké reconoció que quedó anonadado ante la cultura empresarial de esas compañías. «Francamente», confesó, «esperaba de Shell una estrategia empresarial mucho más sutil.» (*Manchester Guardian Weekly*, 17 de diciembre de 1995.)

23. Ver pág. 104.
24. Ver *Business Week*, 13 de septiembre de 1999.
25. Ver Cohen y Rai (2000).
26. Ver pág. 274.
27. Ver Wellman (1999).
28. Castells (1996); ver pág. 173 del presente libro.
29. Wenger (1996).
30. Wenger (1996), pág. 72 y ss.
31. Ver pág. 121 y ss.
32. De Geus (1997b).
33. Wenger (1998), pág. 6.
34. Mi agradecimiento a Angelika Siegmund por nuestras extensas conversaciones sobre este tema.
35. Es necesario señalar, sin embargo, que no todas las redes informales son fluidas y autogénicas. Por ejemplo, las bien conocidas redes de «viejos amigos» son estructuras patriarcales informales que pueden ser muy rígidas y ejercer mucho poder. Cuando hablo en los párrafos siguientes de «estructuras informales», me refiero a las redes de comunicaciones que se autogeneran continuamente, o comunidades de práctica.
36. Ver Wheatley y Kellner-Rogers (1998).
37. Ver pág. 63.
38. Wheatley y Kellner-Rogers (1998).
39. Capra (1996), págs. 34-35.
40. Ver pág. 123 y ss.
41. Tuomi (1999).
42. Ver Nonaka y Takeuchi (1995).
43. Nonaka y Takeuchi (1995), pág. 59.
44. Ver Tuomi (1999), pág. 323 y ss.

45. Ver Winogard y Flores (1991), pág. 107 y ss.
46. Ver pág. 79 y ss.
47. Wheatley (2001).
48. Wheatley (1997).
49. Ver págs. 36-38.
50. Citado en Capra (1998), pág. 20.
51. Ver Capra (1975).
52. Proust (1921).
53. Ver pág. 127.
54. Ver Capra (2000).
55. Ver págs. 96-98.
56. Ver págs. 106-108.
57. Mi agradecimiento a Morten Flatau por nuestras extensas conversaciones sobre este punto.
58. Wheatley (1997).
59. Ver pág. 96.
60. Wheatley y Kellner-Rogers (1998).
61. De Geus (1997b).
62. Siegmund, comunicación personal, julio de 2000.
63. De Geus (1997a), pág. 57.
64. Ver *The Economist*, 22 de julio de 2000.
65. Ver, por ejemplo, Petzinger (1999).
66. Castells (1996); ver págs. 160-162 de este libro.

5. LAS REDES DEL CAPITALISMO GLOBAL

1. Mander y Goldsmith (1996).
2. Castells (1996).
3. *Ibíd.*, pág. 4.
4. Castells (1996-1998).
5. Giddens (1996).
6. Ver Castells (1998), pág. 4 y ss.
7. *Ibíd.*, pág. 338.
8. Hutton y Giddens (2000).
9. Václav Havel, observaciones durante los debates del Fórum 2000, 10-13 de octubre de 1999.

10. Ver págs. 160-162.
11. Ver Castells (1996), pág. 40 y ss.
12. Ver Capra (1996), pág. 51 y ss.
13. Ver Abbate (1999).
14. Ver Himanen (2001).
15. Ver Capra (1982), pág. 211 y ss.
16. Ver Castells (1996), págs. 18-22; Castells (2000a).
17. Castells (1996), págs. 434-435.
18. Castells (1998), pág. 341.
19. Giddens en Hutton y Giddens (2000), pág. 10.
20. Ver Castells (2000a).
21. *Ibíd.*
22. Ver Volcker (2000).
23. Ver Faux y Mishel (2000).
24. Volcker (2000).
25. Castells, comunicación personal, 2000.
26. Kuttner (2000).
27. Castells (2000a).
28. Ver págs. 273-274.
29. Ver pág. 167.
30. Ver Castells (1996), págs. 474-475.
31. Castells (1996), pág. 476.
32. Ver Castells (1998), pág. 70 y ss.
33. PNUD (1996).
34. Ver PNUD (1999).
35. Ver Castells (1998), págs. 130-131.
36. Ver Castells (2000a).
37. Castells (1998), pág. 74.
38. Ver *ibíd.*, págs. 164-165.
39. Ver Capra (1982), pág. 225.
40. Ver Brown *et al.* (2001) y los informes anuales precedentes; ver también Gore (1992), Hawken (1993).
41. Gore (1992).
42. Goldsmith (1996).
43. Ver *ibíd.*
44. Ver Shiva (2000).
45. *Ibíd.*

46. Goldsmith (1996).
47. *Ibíd.*
48. Ver Castells (1996), pág. 469 y ss.
49. Ver Castells (1998), págs. 346-347.
50. Lo mismo puede decirse del nuevo fenómeno del terrorismo internacional, como han demostrado espectacularmente los ataques contra Estados Unidos del 11 de septiembre de 2001; ver Zunes (2001).
51. Ver Castells (1998), pág. 166 y ss.
52. *Ibíd.*, pág. 174.
53. *Ibíd.*, págs. 179-180.
54. *Ibíd.*, pág. 330 y ss.
55. *Ibíd.*, pág. 330.
56. Ver Korten (1995 y 1999).
57. Manuel Castells, comunicación personal, 1999.
58. Ver Capra (1982), págs. 279-280.
59. Ver Capra (1996), pág. 35.
60. Ver Castells (1996), pág. 327 y ss.
61. Ver pág. 121.
62. Castells (1996), pág. 329.
63. McLuhan (1964).
64. Ver Danner (2000).
65. Castells (1996), pág. 334.
66. Ver pág. 150 y ss.
67. Ver Castells (1996), págs. 339-340.
68. Manuel Castells, comunicación personal, 1999.
69. Ver Schiller (2000).
70. Ver pág. 84.
71. Castells (1996), pág. 371.
72. Ver *ibíd.*, pág. 476.
73. Castells (1998), pág. 348.
74. George Soros, observaciones en el Fórum 2000, Praga, octubre de 1999; ver también Soros (1998).
75. Castells (2000a).
76. Ver pág. 288 y ss.

6. LA BIOTECNOLOGÍA EN LA ENCRUCIJADA

1. Ver pág. 35.
2. Keller (2000).
3. Ho (1998a), pág. 19; ver también Holdrege (1996) para una introducción notablemente legible a la genética y la ingeniería genética.
4. Ver Capra (1982), pág. 116 y ss.
5. Ver Ho (1998a), pág. 42 y ss.
6. Ver Margulis y Sagan (1986), págs. 89-90.
7. Ho (1998a), pág. 146 y ss.
8. Ver *Science*, 6 de junio de 1975, pág. 99 y ss.
9. Aunque esos animales no fueron creados por reproducción sexual, sino mediante manipulación genética, no son clones en el sentido estricto de la palabra; ver pág. 236.
10. Ver Altieri (2000b).
11. Ver pág. 252 y ss.
12. Ho (1998a), pág. 14 y ss.
13. Ver *The New York Times*, 13 de febrero de 2001.
14. Ver *ibíd.*
15. *Nature*, 15 de febrero de 2001; *Science*, 16 de febrero de 2001.
16. Keller (2000), pág. 138.
17. Bailey, citado en Keller (2000), págs. 129-130.
18. Un gen consiste en una secuencia de elementos, llamados «nucleótidos», a lo largo de una hebra de la doble hélice del ADN; ver, por ejemplo, Holdrege (1996), pág. 74.
19. Keller (2000), pág. 14.
20. Ver *ibíd.*, pág. 26 y ss.
21. Ver *ibíd.*, pág. 27.
22. *Ibíd.*, pág. 31.
23. Ver *ibíd.*, pág. 32 y ss.
24. *Ibíd.*, pág. 34.
25. Ver Capra (1996), págs. 224-225.
26. Shapiro (1999).
27. Ver pág. 57.
28. Ver pág. 61.

29. McClintock (1983).
30. Ver Watson (1968).
31. Citado en Keller (2000), pág. 54.
32. Ho (1998a), pág. 99.
33. Strohman (1997).
34. Ver Keller (2000), pág. 59 y ss.
35. Ver Baltimore (2001).
36. Ver Keller (2000), pág. 61.
37. *Ibíd.*, pág. 63.
38. Ver *ibíd.*, pág. 64 y ss.
39. *Ibíd.*, pág. 57.
40. Ver *ibíd.*, pág. 100.
41. Ver *ibíd.*, pág. 55 y ss.
42. Ver *ibíd.*, pág. 90 y ss.
43. Ver Strohman (1997).
44. Ver, por ejemplo, Kauffman (1995), Stewart (1998), Solé y Goodwin (2000).
45. Ver Capra (1996), pág. 26.
46. Ver Keller (2000), págs. 112-113.
47. *Ibíd.*, pág. 103 y ss.
48. Ver *ibíd.*, pág. 111 y ss.
49. Dawkins (1976).
50. Keller (2000), pág. 115; ver también Goodwin (1994), pág. 29 y ss., para un análisis crítico de la metáfora del «gen egoísta».
51. Mi agradecimiento a Brian Goodwin por nuestras esclarecedoras conversaciones al respecto.
52. Ver Capra (1996), pág. 128 y ss., para una breve introducción al lenguaje matemático de la teoría de la complejidad.
53. Gelbart (1998).
54. Keller (2000), pág. 9.
55. Holdrege (1996), págs. 116-117.
56. Ver *ibíd.*, pág. 109 y ss.
57. Ehrenfeld (1997).
58. Strohman (1997).
59. Weatherall (1998).
60. Ver Lander y Schork (1994).

61. Ver Ho (1998a), pág. 190.
62. Keller (2000), pág. 68.
63. Strohman (1997).
64. Ho (1998a), pág. 35.
65. En sentido estricto, el término «clon» se refiere a uno o varios organismos derivados de un solo progenitor por reproducción asexual, como en un cultivo de bacterias puro. Excepto por diferencias debidas a mutaciones, todos los miembros de un clon son genéticamente idénticos al progenitor.
66. Lewontin (1997).
67. *Ibíd.*
68. Ver Ho (1998a), págs. 174-175.
69. Por ejemplo, las estructuras celulares conocidas como mitocondrias (las «centrales de energía» de la célula) contienen su propio material genético y se reproducen independientemente del resto de la célula; ver Capra (1996), pág. 231. Sus genes están implicados en la producción de algunas enzimas esenciales.
70. Ver Lewontin (1997).
71. Ver Ho (1998a), pág. 179.
72. Ver *ibíd.*, págs. 180-181.
73. Ver Capra (1982), pág. 253 y ss.
74. Ehrenfeld (1997).
75. Ver Altieri y Rosset (1999).
76. Ver Simms (1999).
77. Ver *The Guardian Weekly*, 13 de junio de 1999.
78. Ver *ibíd.*
79. Altieri y Rosset (1999).
80. Lappé, Collins y Rosset (1998).
81. Ver Simms (1999).
82. Altieri (2000a).
83. Ver Altieri y Rosset (1999).
84. Simms (1999).
85. Ver Jackson (1985), Altieri (1995); ver también Mollison (1991).
86. Ver Capra (1996), pág. 298 y ss.
87. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), pág. 205.
88. Ver Norberg-Hodge, Merrifield y Gorelick (2000).

89. Ver Halweil (2000).
90. Ver Altieri y Uphoff (1999); ver también Pretty y Hine (2000).
91. Citado en Altieri y Uphoff (1999).
92. *Ibíd.*
93. Altieri (2000a).
94. Ver Altieri (2000b).
95. Ver págs. 206-207.
96. Bardocz (2001).
97. Meadows (1999).
98. Ver Altieri (2000b).
99. Ver Shiva (2000).
100. Ver Shiva (2001).
101. Ver Steinbrecher (1998).
102. Ver Altieri (2000b).
103. Losey *et al.* (1999).
104. Ver Altieri (2000b).
105. Ver Ho (1998b), Altieri (2000b).
106. Stanley *et al.* (1999).
107. Ehrenfeld (1997).
108. Ver Altieri y Rosset (1999).
109. Shiva (2000).
110. Ver *ibíd.*
111. Ver págs. 238-240.
112. Ver Mooney (1998).
113. Ver Ho (1998a), pág. 26.
114. Ver Shiva (1997).
115. Shiva (2000).
116. Ver pág. 288.
117. Ver Ho (1998a), pág. 246 y ss.; Simms (1999).
118. Ver págs. 292-293.
119. Benyus (1997).
120. Strohman (1997).
121. Ver pág. 227.

7. CARTAS NUEVAS

1. Ver Brown *et al.* (2001).
2. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), pág. 3.
3. Citado en Brown *et al.* (2001), pág. 10; ver también McKibben (2001).
4. Ver *ibíd.*, págs. XVII-XVIII, 10 y ss.
5. Ver *The New York Times*, 19 de agosto de 2000.
6. Ver Brown *et al.* (2001), pág. 10.
7. Ver Capra (1982), pág. 277.
8. Ver Brown *et al.* (2001), págs. XVIII, 10-11.
9. Ver *ibíd.*, pág. 123 y ss.
10. Ver *ibíd.*, pág. 137.
11. Janet Abramovitz, en Brown *et al.* (2001), págs. 123-124.
12. Ver Brown *et al.* (2001), págs. 4-5.
13. Ver pág. 204.
14. Ver pág. 175 y ss.
15. Ver Castells (2000a).
16. Ver Barker y Mander (1999), Wallach y Sforza (2001).
17. Ver págs. 192-193.
18. Ver Henderson (1999), pág. 35 y ss.
19. Ver *The Guardian Weekly*, 1-7 de febrero de 2001.
20. Ver pág. 171.
21. Ver Capra y Steindl-Rast (1991), págs. 16-17.
22. Ver Union of International Associations, www.uia.org; ver también Union of International Associations (2000/2001).
23. Ver, por ejemplo, Barker y Mander (1999).
24. Ver Hawken (2000).
25. Hawken (2000).
26. Citado en *ibíd.*
27. Ver Kohr (1999/2001).
28. Ver Global Trade Watch, www.tradewatch.org.
29. *The Guardian Weekly*, 8-14 de febrero de 2001.
30. Ver pág. 193.
31. Castells (1997), pág. 354 y ss.
32. Ver págs. 175-178.

33. Warkentin y Mingst (2000).
34. Citado en Warkentin y Mingst (2000).
35. Resulta interesante observar que esta nueva forma de discurso político fue introducido por Los Verdes alemanes a principios de los ochenta, cuando subieron por primera vez al poder; ver Capra y Spretnak (1984), pág. XIV.
36. Ver pág. 204.
37. Warkentin y Mingst (2000).
38. Castells (1998), págs. 352-353.
39. Debi Barker, FIG, comunicación personal, octubre de 2001.
40. Ver págs. 145, 197.
41. Robbins (2001), pág. 380.
42. Ver, por ejemplo, «The Monsanto Files», edición especial de *The Ecologist*, septiembre-octubre de 1998.
43. Robbins (2001), pág. 372 y ss.; ver también Tokar (2001).
44. Ver Robbins (2001), pág. 374.
45. *The Wall Street Journal*, 7 de enero de 2000.
46. Brown (1981).
47. Comisión Mundial sobre Medio Ambiente y Desarrollo (1987).
48. Ver pág. 274.
49. Ver Orr (1992); Capra (1996), pág. 297 y ss.; Callenbach (1998).
50. Ver Barlow y Crabtree (2000).
51. Benyus (1997), pág. 2.
52. Ver pág. 160.
53. Ver Hawken (1993), McDonough y Braungart (1998).
54. Ver Pauli (1996).
55. Ver Pauli (2000); ver también la página electrónica de ZERI, www.zeri.org.
56. Ver pág. 185 y ss.
57. Ver la página electrónica de ZERI, www.zeri.org.
58. McDonough y Braungart (1998).
59. *Ibíd.*
60. Ver Brown (1999).
61. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), págs. 185-186.

62. Hawken (1993), pág. 68.
63. Ver McDonough y Braungart (1998); ver también Hawken, Lovins y Lovins (1999), pág. 16 y ss.
64. Ver Anderson (1990); ver también Hawken, Lovins y Lovins (1999), págs. 139-141 y ss.
65. Ver www.canon.com, la página electrónica de Canon.
66. Ver www.fiatgroup.com, la página electrónica del Grupo Fiat.
67. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), págs. 11-12.
68. Ver Gardner y Sampat (1998).
69. Hawken, Lovins y Lovins (1999), págs. 10-12.
70. Ver *ibíd.*, pág. 94 y ss.
71. McDonough y Braungart (1998).
72. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), págs. 94, 102-103; ver también Orr (2001).
73. Ver pág. 192.
74. Ver Register y Peeks (1997), Register (2001).
75. Newman y Kenworthy (1998); ver también Jeff Kenworthy, «City Building and Transportation Around the World», en Register y Peeks (1997).
76. Ver págs. 321-322.
77. Dunn (2001).
78. Ver Capra (1982), pág. 242 y ss.
79. Citado en *ibíd.*, pág. 400.
80. Citado en Hawken, Lovins y Lovins (1999), pág. 249.
81. Ver Dunn (2001).
82. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), págs. 247-248.
83. Ver Capra (1982), pág. 403 y ss.
84. Ver «The Future of Fuel Cells», informe especial, *Scientific American*, julio de 1999.
85. Ver Lamb (1999), Dunn (2001).
86. Ver Dunn (2001).
87. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), pág. 24.
88. Ver *ibíd.*, pág. 22 y ss.
89. *Ibíd.*, págs. 35-37. Independizarse del petróleo de la OPEP permitiría a los Estados Unidos cambiar radicalmente su política exterior en Oriente Medio, hoy día condicionada por la

necesidad del petróleo, considerado «recurso estratégico». El abandono de esa política basada en la obtención de recursos significaría un cambio sustancial en las circunstancias subyacentes tras la reciente ola de terrorismo internacional. Por consiguiente, una política energética basada en las fuentes energéticas renovables y la conservación no es únicamente imperativa para avanzar hacia la sostenibilidad ecológica, sino que tiene también que ser vista como una cuestión vital para la seguridad de los Estados Unidos; ver Capra (2001).

90. Lovins *et al.* (1996).
91. Ver Lovins y Lovins (2001).
92. Ver www.hypercar.com.
93. *The Wall Street Journal*, 9 de enero de 2001.
94. Ver Denner y Evans (2001).
95. Ver Hawken, Lovins y Lovins (1999), pág. 34.
96. *Ibíd.*, págs. 36-37.
97. Lovins y Lovins (2001).
98. Dunn (2001).
99. Myers (1998).
100. Ver Hawken (1993), pág. 169 y ss.; Daly (1995).

EPÍLOGO: APLICAR EL SENTIDO COMÚN

1. Vandana Shiva, cita en pág. 193.
2. Suzuki (2001).
3. Ver Domínguez y Robin (1999).
4. Ver Ramonet (2000).
5. Gilmore (1990).
6. Cosa curiosa, Gilmore no menciona el hecho, extensamente debatido en la literatura feminista, de que las mujeres no necesitan demostrar su femineidad por su capacidad para dar a luz, percibida en las culturas prepatriarcales como un terrorífico poder transformador; ver, por ejemplo, Rich (1977).
7. Gilmore (1990), pág. 229. Sin embargo, la psicóloga Vera van Aaken señala que, en las culturas patriarcales, la definición de masculinidad en términos de cualidades guerreras toma prioridad

sobre la que se expresa en términos de producción material altruísta. Van Aaken observa que Gilmore tiende a subestimar el sufrimiento infligido a la comunidad por ese ideal guerrero; ver Van Aaken (2000), pág. 149.

8. Gilmore (1990), pág. 110.
9. Ver Capra (1982), pág. 36 y ss.
10. Ver Capra (1996), pág. 3 y ss.
11. Ver Spretnak (1981).
12. Suzuki y Dressel (1999), págs. 263-264.
13. Brown (1999); Lovins, comunicación personal, mayo de 2001; Shiva, comunicación personal, febrero de 2001.
14. Havel (1990), pág. 181.

BIBLIOGRAFÍA

- Aaken, Vera van, *Männliche Gewalt*, Patmos, Düsseldorf, 2000.
- Abbate, Janet, *Inventing the Internet*, MIT Press, 1999.
- Altieri, Miguel, *Agroecology*, Westview, Boulder, Colorado, 1995.
- , «Biotech Will Not Feed the World», *San Francisco Chronicle*, 30 de marzo, 2000a.
- , «The Ecological Impacts of Transgenic Crops on Agroecosystem Health», *Ecosystem Health*, vol. 6, n.º 1, marzo, 2000b.
- , y Peter Rosset, «Ten Reasons Why Biotechnology Will not Ensure Food Security, Protect the Environment and Reduce Poverty in the Developing World», *Agbioforum*, vol. 2, n.º 3-4, 1999.
- , y Norman Uphoff, *Report of Bellagio Conference on Sustainable Agriculture*, Cornell International Institute for Food, Agriculture and Development, 1999.
- Anderson, Ray, *Mid-Course Correction*, Peregrinzilla Press, Atlanta, Georgia, 1998.
- Baert, Patrick, *Social Theory in the Twentieth Century*, New York University Press, 1998.
- Baltimore, David, «Our genome unveiled», *Nature*, 15 de febrero de 2001.
- Bardocz, Susan, debate en la conferencia «Technology & Globalization», International Forum on Globalization, Nueva York, febrero de 2001.
- Barker, Debi, y Jerry Mander, «Invisible Government», International Forum on Globalization, octubre de 1999.

Barlow, Zenobia, y Margo Crabtree (eds.), *Ecoliteracy: Mapping the Terrain*, Centre for Ecoliteracy, Berkeley, California, 2000.

Benyus, Janine, *Biomimicry*, Morrow, Nueva York, 1997.

Block, Peter, *Stewardship*, Berrett-Koehler, San Francisco, 1993.

Brown, Lester, *Building a Sustainable Society*, Norton, Nueva York, 1981.

—, «Crossing the Threshold», en *World Watch Magazine*, Worldwatch Institute, Washington, D. C., 1999.

—, et al., *State of the World 2001*, Worldwatch Institute, Washington, D. C., 2001.

Callenbach, Ernst, *Ecology: A Pocket Guide*, University of California Press, Berkeley, 1998.

Capra, Fritjof, *The Tao of Physics*, Shambhala, Boston, 1975; cuarta edición, revisada, 1999. (Edición en castellano: *El Tao de la física*, Luis Cárcamo, Madrid, 1984.)

—, *The Turning Point*, Simon & Schuster, Nueva York, 1982. (Edición en castellano: *El punto crucial*, Integral, Barcelona, 1985.)

—, *Uncommon Wisdom*, Simon & Schuster, Nueva York, 1988. (Edición en castellano: *Sabiduría insólita*, Kairós, Barcelona, 1990.)

—, *The Web of Life*, Anchor/Doubleday, Nueva York, 1996. (Edición en castellano: *La trama de la vida*, Anagrama, Barcelona, 1998; cuarta edición, 2002.)

—, «Is There a Purpose in Nature?», en Anton Markos (ed.), *Is There a Purpose in Nature?*, Actas del Seminario de Praga, Center for Theoretical Study, Praga, 2000.

—, «Trying to Understand: A Systemic Analysis of International Terrorism», www.fritjofcapra.net, octubre de 2001.

—, y Charlene Spretnak, *Green Politics*, Dutton, Nueva York, 1984.

—, y David Steindl-Rast, *Belonging to the Universe*, Harper, San Francisco, 1991. (Edición en castellano: *Pertenecer al universo*, Edaf, Madrid, 1994.)

—, y Gunter Pauli (eds.), *Steering Business Toward Sustainability*, United Nations University Press, Tokio, 1995.

Castells, Manuel, *The Information Age*, vol. 1, *The Rise of the Network Society*, Blackwell, Londres 1996.

—, *The Information Age*, vol. 2, *The Power of Identity*, Blackwell, Londres, 1997.

—, *The Information Age*, vol. 3, *End of Millennium*, Blackwell, Londres, 1998.

—, «Information Technology and Global Capitalism», en Hutton y Giddens (2000a).

—, «Materials for an Exploration Theory of the Network Society», *British Journal of Sociology*, vol. 51, n.º 1, enero-marzo, 2000b.

Chalmers, David J., «Facing Up to the Problem of Consciousness», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 2, n.º 3, págs. 200-219, 1995.

Chawla, Sarita, y John Renesch (eds.), *Learning Organizations*, Productivity Press, Portland, Oregón, 1995.

Churchland, Patricia, y Terrence Sejnowski, *The Computational Brain*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1992.

Cohen, Robin, y Shirin Rai, *Global Social Movements*, Athlone Press, 2000.

Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo, *Our Common Future*, Oxford University Press, Nueva York, 1987.

Crick, Francis, *The Astonishing Hypothesis: The Scientific Search for the Soul*, Scribner, Nueva York, 1994.

Daly, Herman, «Ecological Tax Reform», en Capra y Pauli (1995).

Danner, Mark, «The Lost Olympics», *New York Review of Books*, 2 de noviembre de 2000.

Davenport, Thomas, y D'Neale Prusak, *Working Knowledge*, Harvard Business School Press, 2000.

Dawkins, Richard, *The Selfish Gene*, Oxford University Press, 1976. (Edición en castellano: *El gen egoísta*, Salvat Editores, Barcelona, 1997.)

De Geus, Arie, *The Living Company*, Harvard Business School Press, 1997a.

—, «The Living Company», *Harvard Business Review*, marzo-abril, 1997b.

Denner, Jason, y Thammy Evans, «Hypercar makes its move», *RMI Solutions*, Rocky Mountain Institute Newsletter, primavera de 2000.

- Dennett, Daniel, *Consciousness Explained*, Little Brown, Nueva York, 1991.
- Depraz, Nathalie, «The Phenomenological Reduction as Praxis», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 95-110, 1999.
- Domínguez, Joe, y Vicki Robin, *Your Money or Your Life*, Penguin, Harmondsworth, 1999.
- Dunn, Seth, «Decarbonizing the Energy Economy», en Brown *et al.*, 2001.
- Edelman, Gerald, *The Remembered Present: A Biological Theory of Consciousness*, Basic Books, Nueva York, 1989.
- , *Bright Air, Brilliant Fire*, Basic Books, Nueva York, 1992.
- Ehrenfeld, David, «A Techno-Pox Upon the Land», *Harper's Magazine*, octubre de 1997.
- Ellul, Jacques, *The Technological Society*, Knopf, Nueva York, 1964.
- Faux, Jeff, y Larry Mishel, «Inequality and the Global Economy», en Hutton y Giddens (2000).
- Fischer, Aline, Thomas Oberholzer y Pier Luigi Luisi, «Giant vesicles as models to study the interactions between membranes and proteins», *Biochimica et Biophysica Acta*, vol. 1467, págs. 177-188, 2000.
- Fischer, Claude, «Studying Technology and Social Life», en Manuel Castells (ed.), *High Technology, Space, and Society*, Beverly Hills, California, 1985.
- Fouts, Roger, *Next of Kin*, William Morrow, Nueva York, 1997.
- Galbraith, John Kenneth, *The Anatomy of Power*, Hamish Hamilton, Londres, 1984.
- Gardner, Gary, y Payal Sampat, «Mind Over Matter: Recasting the Role of Materials in Our Lives», Worldwatch Paper 114, Worldwatch Institute, Washington, D. C., 1998.
- Gelbart, William, «Data bases in Genomic Research», *Science*, 23 de octubre de 1998.
- Gesteland, Raymond, Thomas Cech y John Atkins (eds.), *The RNA World*, Cold Spring Harbour Laboratory Press, Nueva York, 1999.
- Giddens, Anthony, *Times Higher Education Supplement*, Londres, 13 de diciembre de 1996.
- Gilbert, Walter, «The RNA World», *Nature*, vol. 319, pág. 618, 1986.
- Gilmore, David, *Manhood in the Making*, Yale University Press, 1990.
- Goldsmith, Edward, «Global Trade and the Environment», en Mander y Goldsmith (1996).
- Goodwin, Brian, *How the Leopard Changed Its Spots*, Scribner, Nueva York, 1994.
- Gore, Al, *Earth in the Balance*, Houghton Mifflin, Nueva York, 1992.
- Gould, Stephen Jay, «Lucy on the Earth in Stasis», *Natural History*, n.º 9, 1994.
- Halweil, Brian, «Organic Farming Thrives Worldwide», en Lester Brown, Michael Renner y Brian Halweil (eds.), *Vital Signs 2000*, Norton, Nueva York, 2000.
- Havel, Václav, *Disturbing the Peace*, Faber and Faber, Londres y Boston, 1990.
- Hawken, Paul, *The Ecology of Commerce*, HarperCollins, Nueva York, 1993.
- , «N30: WTO Showdown», *Yes!*, primavera de 2000.
- , Amory Lovins y Hunter Lovins, *Natural Capitalism*, Little Brown, Nueva York, 1999.
- Held, David, *Introduction to Critical Theory*, University of California Press, Berkeley, 1990.
- Henderson, Hazel, *Beyond Globalization*, Kumarian Press, West Hartford, Connecticut, 1999.
- Himanen, Pekka, *The Hacker Ethic*, Random House, Nueva York, 2001. (Edición en castellano: *La ética del Hacker*, Ediciones Destino, Barcelona, 2002. Incluye prólogo de Linus Torvalds y epílogo de Manuel Castells.
- Ho, Mae-Wan, *Genetic Engineering – Dream or Nightmare?*, Gateway Books, Bath, 1998a.
- , «Stop this Science and Think Again», discurso en la Linnean Society de Londres, 17 de marzo, 1998b.
- Holdrege, Craig, *Genetics and the Manipulation of Life*, Lindisfarne Press, 1996.
- Hutton, Will, y Anthony Giddens (eds.), *Global Capitalism*, The New Press, Nueva York, 2000.

- Iverson, Jana, y Esther Thelen, «Hand, Mouth and Brain», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 11-12, págs. 19-40, 1999.
- Jackson, Wes, *New Roots for Agriculture*, University of Nebraska Press, 2000.
- Johnson, Mark, *The Body in the Mind*, University of Chicago Press, 1987.
- Kauffman, Stuart, *At Home in the Universe*, Oxford University Press, 1995.
- Keller, Evelyn Fox, *The Century of the Gene*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 2000.
- Khor, Martin, «The revolt of developing nations», en «The Seattle Debacle», edición especial de *Third World Resurgence*, Penang, Malasia, diciembre de 1999 - enero de 2000.
- Kimura, Doreen, «The Neural Basis of Language Qua Gesture», en H. Whitaker y H. A. Whitaker (eds.), *Studies in Linguistics*, vol. 2, Academic Press, San Diego, 1976.
- Korten, David, *When Corporations Rule the World*, Berrett-Koehler, San Francisco, 1995. (Edición en castellano: *El mundo bajo las corporaciones*, Cuatro Vientos Editorial, Santiago de Chile, 1998.)
- , *The Post-Corporate World*, Berrett-Koehler, San Francisco, 1999.
- Kranzberg, Melvin, y Carroll Purcell, Jr. (eds.), *Technology in Western Civilization*, 2 vols., Oxford University Press, Nueva York, 1967.
- Kuttner, Robert, «The Role of Governments in the Global Economy», en Hutton y Giddens (2000).
- Lakoff, George, *Women, Fire, and Dangerous Things*, University of Chicago Press, 1987.
- , y Mark Johnson, *Philosophy in the Flesh*, Basic Books, Nueva York, 1999.
- Lamb, Marguerite, «Power to the People», *Mother Earth News*, octubre-noviembre de 1999.
- Lander, Eric, y Nicholas Schork, «Genetic Dissection of Complex Traits», *Science*, 30 de septiembre de 1994.
- Lappé, Frances Moore, Joseph Collins y Peter Rosset, *World Hunger: Twelve Myths*, Grove Press, Nueva York, 1998.
- Lewontin, Richard, «The Confussion over Cloning», *New York Review of Books*, 23 de octubre de 1997.
- Losey, J., et al., «Transgenic Pollen Harms Monarch Larvae», *Nature*, 20 de mayo de 1999.
- Lovelock, James, *Healing Gaia*, Harmony Books, Nueva York, 1991. (Edición en castellano: *Gaia: una ciencia para curar el planeta*, Integral, Barcelona, 1992.)
- Lovins, Amory, et al., *Hypercars: Materials, Manufacturing, and Policy Implications*, Rocky Mountain Institute, 1996.
- , y Hunter Lovins, «Frozen Assets?», *RMI Solutions*, Rocky Mountain Institute Newsletter, primavera de 2001.
- Luhmann, Niklas, «The Autopoiesis of Social Systems», en Niklas Luhmann, *Essays on Self-Reference*, Columbia University Press, Nueva York, 1990.
- Luisi, Pier Luigi, «Defining the Transition to Life: Self-Replicating Bounded Structures and Chemical Autopoiesis», en W. Stein y F. J. Varela (eds.), *Thinking about Biology*, Addison-Wesley, Nueva York, 1993.
- , «Self-Reproduction of Micelles and Vesicles: Models for the Mechanisms of Life from the Perspective of Compartmented Chemistry», en I. Prigogine y S. A. Rice (eds.), *Advances in Chemical Physics*, vol. XCII, John Wiley, 1996.
- , «About Various Definitions of Life», en *Origins of Life and Evolution of the Biosphere*, n.º 28, págs. 613-622, 1998.
- Lukes, Steven (ed.), *Power*, New York University Press, 1986.
- Mander, Jerry, *In the Absence of the Sacred*, Sierra Club Books, San Francisco, 1991.
- , y Edward Goldsmith (eds.), *The Case Against the Global Economy*, Sierra Club Books, San Francisco, 1996.
- Margulis, Lynn, *Symbiotic Planet*, Basic Books, Nueva York, 1998a.
- , «From Gaia to Microcosm», conferencia en la Corona Summer School, «Science and the Wholeness of Life», agosto, 1998b (inédita).
- , y Dorion Sagan, *Microcosmos*, publicado originalmente en 1986; nueva edición por University of California Press, Berkeley, 1997.

- , y Dorion Sagan, *What is Life?*, Simon & Schuster, Nueva York, 1995.
- Maturana, Humberto, «Biology of Cognition», publicado originalmente en 1970; reeditado en Humberto Maturana y Francisco Varela, *Autopoiesis and Cognition*, D. Reidel, Dordrecht, Países Bajos, 1980.
- , «Biology of Self-Consciousness», en G. Trautteur (ed.), *Consciousness: Distinction and Reflection*, Bibliopolis, Nápoles, 1995.
- , seminario en el encuentro de miembros de la Society of Organizational Learning, Amherst, Massachusetts, junio de 1998 (inédito).
- , y Francisco Varela, *The Tree of Knowledge*, Shambhada, Boston, 1987. (Edición en castellano: *El árbol del conocimiento*, Debate, Madrid, 1990.)
- McClintock, Barbara, «The Significance of Responses of the Genome to Challenges», 1983, conferencia de aceptación del Premio Nobel, reeditada en Nina Fedoroff y David Botstein (eds.), *The Dynamic Genome*, Cold Spring Harbor Laboratory Press, Cold Spring, 1992.
- McDonough, William, y Michael Braungart, «The Next Industrial Revolution», *Atlantic Monthly*, octubre de 1998.
- McGinn, Colin, *The Mysterious Flame*, Basic Books, Nueva York, 1999.
- McKibben, Bill, «Some Like it Hot», *New York Review*, 5 de julio de 2001.
- McLuhan, Marshall, *Understanding Media*, Macmillan, Nueva York, 1964.
- Meadows, Donella, «Scientists Slice Genes as Heedlessly as They Once Split Atoms», *Valley News*, Plainfiels, New Hampshire, 27 de marzo de 1999.
- Medd, William, «Complexity in the Wild: Complexity Science and Social Systems», tesis doctoral, Departamento de Sociología, Universidad de Lancaster, marzo de 2000.
- Mollison, Bill, *Introduction to Permaculture*, Tagain Publications, Australia, 1991.
- Mooney, Patrick, «From Cabbages to Kings», en *Development Dialogue: The Laws of Life*, Dag Hammarskjöld Foundation, Suecia, 1988.
- Morgan, Gareth, *Images of Organizations*, Berrett-Koehler, San Francisco, 1998.
- Morowitz, Harold, *Beginnings of Cellular Life*, Yale University Press, 1992.
- Myers, Norman, *Perverse Subsidies*, International Institute for Sustainable Development, Winnipeg, Manitoba, 1998.
- Newman, Peter, y Jeffrey Kenworthy, *Sustainability and Cities*, Island Press, Washington, D. C., 1998.
- Nonaka, Ikujiro, y Hirotaka Takeuchi, *The Knowledge-Creating Company*, Oxford University Press, Nueva York, 1995.
- Norberg-Hodge, Helena, Todd Merrifield y Steven Gorelick, «Bringing the Food Economy Home», International Society for Ecology and Culture, Berkeley, California, octubre de 2000.
- Núñez, Rafael E., «Eating Soup with Chopsticks: Dogmas, Difficulties and Alternatives in the Study of Conscious Experience», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 4, n.º 2, págs. 143-166, 1997.
- Orr, David, *Ecological Literacy*, State University of New York Press, 1992.
- , *The Nature of Design*, Oxford University Press, Nueva York, 1992.
- Pauli, Gunter, «Industrial Clustering and the Second Green Revolution», conferencia en el Schumacher College, mayo de 1996 (inédita).
- Penrose, Roger, *Shadows of the Mind: A Search for the Missing Science of Consciousness*, Oxford University Press, Nueva York, 1994.
- , «The Discrete Charm of Complexity», conferencia inaugural del XXV Simposio Internacional del Centro Piero Manzù, Rimini, Italia, octubre de 1999 (inédito).
- Petzinger, Thomas, *The New Pioneers*, Simon & Schuster, Nueva York, 1999.
- Postman, Neil, *Technopoly*, Knopf, Nueva York, 1992.
- Pretty, Jules, y Rachel Hine, «Feeding the World with Sustainable

- Agriculture», United Kingdom Department for International Development, octubre de 2000.
- Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), *Human Development Report 1996*, Oxford University Press, Nueva York, 1996.
- , *Human Development Report 1999*, Oxford University Press, Nueva York, 1999.
- Proust, Marcel, *Sodome et Gomorrhe*, tomo IV de *À la recherche du temps perdu*, París, 1913-1927. (Existen diversas ediciones castellanas.)
- Ramonet, Ignacio, «El control del placer», *Le Monde Diplomatique*, mayo de 2000.
- Register, Richard, *Ecocities*, Berkeley Hills Books, Berkeley, California, 2001.
- , y Braddy Peeks (eds.), *Village Wisdom/Future Cities*, Ecocity Builders, Oakland, California, 1997.
- Revonsuo, Antti, y Matti Kamppinen (eds.), *Consciousness in Philosophy and Cognitive Neuroscience*, Lawrence Erlbaum, Hillsdale, Nueva Jersey, 1994.
- Rich, Adrienne, *Of Woman Born*, Norton, Nueva York, 1977.
- Robbins, John, *The Food Revolution*, Conari Press, Berkeley, California, 2001.
- Schiller, Dan, «Internet feeding frenzy», *Le Monde Diplomatique*, edición en inglés, febrero de 2000.
- Searle, John, *Minds, Brains, and Science*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts, 1984.
- , «The Mystery of Consciousness», *The New York Review of Books*, 2 y 16 de noviembre de 1995.
- Senge, Peter, *The Fifth Discipline*, Doubleday, Nueva York, 1990.
- , prólogo a Arie de Geus, *The Living Company*, 1996.
- Shapiro, James, «Genome System Architecture and Natural Genetic Engineering in Evolution», en Lynn Helena Caporale (ed.), *Molecular Strategies in Biological Evolution*, *Annals of the New York Academy of Science*, vol. 870, 1999.
- Shear, Jonathan, y Ron Jevning, «Pure Consciousness: Scientific Exploration of Meditation Techniques», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 189-209, 1999.

- Shiva, Vandana, *Biopiracy*, South End Press, Boston, Massachusetts, 1997.
- , «The World on the Edge», en Hutton y Giddens (2000).
- , «Genetically Engineered Vitamin A Rice: A Blind Approach to Blindness Prevention», en Tokar (2001).
- Simms, Andrew, «Selling Suicide», *Christian Aid Report*, mayo de 1999.
- Solé, Ricard, y Brian Goodwin, *Signs of Life*, Basic Books, Nueva York, 2000.
- Sonea, Sorin, y Maurice Panisset, *A New Bacteriology*, Jones & Bartlett, Sudbury, Massachusetts, 1993.
- Soros, George, *The Crisis of Global Capitalism*, Public Affairs, Nueva York, 1998.
- Spretnak, Charlene (ed.), *The Politics of Women's Spirituality*, Anchor/Doubleday, Nueva York, 1981.
- Stanley, W., S. Ewen y A. Pusztai, «Effects of diets containing genetically modified potatoes [...] on rat small intestines», *Lancet*, 16 de octubre de 1999.
- Steinbrecher, Ricarda, «What Is Wrong With Nature?», *Resurgence*, mayo-junio de 1998.
- Steindl-Rast, David, «Spirituality as Common Sense», *The Quest*, Theosophical Society in America, Wheaton, Illinois, vol. 3, n.º 2, 1990.
- Stewart, Ian, *Life's Other Secret*, John Wiley, Nueva York, 1998.
- Strohman, Richard, «The Coming Kuhnian revolution in biology», *Nature Biotechnology*, vol. 15, marzo de 1997.
- Suzuki, David, mesa redonda en la conferencia «Technology & Globalization», International Forum on Globalization, Nueva York, febrero de 2001.
- , y Holly Dressel, *From Naked Ape to Superspecies*, Stoddart, Toronto, 1999.
- Szostak, Jack, David Bartel y Pier Luigi Luisi, «Synthesizing Life», *Nature*, vol. 409, n.º 6818, 18 de enero de 2001.
- Tokar, Brian (ed.), *Redesigning Life?*, Zed, Nueva York, 2001.
- Tononi, Giulio, y Gerald Edelman, «Consciousness and Complexity», *Science*, vol. 282, págs. 1846-1851, 4 de diciembre de 1990.

- Tuomi, Ilkka, *Corporate Knowledge*, Metaxis, Helsinki, 1999.
- Union of International Associations (ed.), *Yearbook of International Associations*, 4 vols., Saur, Munich, 2000-2001.
- Varela, Francisco, «Resonant Cell Assemblies», *Biological Research*, vol. 28, págs. 81-95, 1995.
- , «Neurophenomenology», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 3, n.º 4, págs. 330-349, 1996a.
- , «Phenomenology in Consciousness Research», conferencia en el Dartington Hall, Devon, Gran Bretaña, noviembre de 1996b (inédita).
- , «Present-Time Consciousness», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 111-140, 1999.
- , Evan Thompson y Eleanor Rosch, *The Embodied Mind*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1991.
- , y Jonathan Shear, «First-person Methodologies: What, Why, How?», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 1-14, 1999.
- Vermersch, Pierre, «Introspection as Practice», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 17-42, 1999.
- Volcker, Paul, «The Sea of Global Finance», en Hutton y Giddens (2000).
- Wallace, Alan, «The Buddhist Tradition of Samatha: Methods for Refining and Examining Consciousness», *Journal of Consciousness Studies*, vol. 6, n.º 2-3, págs. 175-187, 1999.
- Wallach, Lori, y Michelle Sforza, *Whose Trade Organization?*, Public Citizen, Washington, D. C., 2001.
- Warkentin, Craig, y Karen Mingst, «International Institutions, the State, and Global Civil Society in the Age of the World Wide Web», *Global Governance*, vol. 6, págs. 237-257, 2000.
- Watson, James, *The Double Helix*, Atheneum, Nueva York, 1968.
- Weatherall, David, «How much has genetics helped?», *Times Literary Supplement*, Londres, 30 de enero de 1998.
- Wellman, Barry (ed.), *Networks in the Global Village*, Westview Press, Boulder, Colorado, 1999.
- Wenger, Etienne, «Communities of Practice», *Healthcare Forum Journal*, julio-agosto de 1996.
- , *Communities of Practice*, Cambridge University Press, 1998.
- Wheatley, Margaret, «Seminar on Self-Organizing Systems», Sundance, Utah, 1997 (inédito).
- , «The Real Work of Knowledge Management», *Human Resource Information Management Journal*, primavera de 2001.
- , y Myron Kellner-Rogers, «Bringing Life to Organizational Change», *Journal of Strategic Performance Measurement*, abril-mayo de 1998.
- Williams, Raymond, *Culture*, Fontana, Londres, 1981.
- Wilson, Don, y Dee Ann Reeder, *Mammal Species of the World*, segunda edición, Smithsonian Institute Press, 1993.
- Windleband, Wilhelm, *A History of Philosophy*, Mcmillan, Nueva York, 1901.
- Winner, Langdon, *Autonomous Technology*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1997.
- Winogard, Terry, y Fernando Flores, *Understanding Computers and Cognition*, Addison-Wesley, Nueva York, 1991.
- Zunes, Stephen, «International Terrorism», Institute for Policy Studies, www.fpif.org, septiembre de 2001.

ÍNDICE TEMÁTICO

- À la recherche du temps perdu* (Proust), 158-159
- ABC-Disney, 202
- Abramowitz, Janet, 268
- acciones, teoría general de las, 110
- Acuerdo Multilateral sobre Inversiones (AMI), 279, 280, 281
- ADN, 28-30, 58, 206, 207, 209, 211, 217, 218, 219, 220, 221, 222, 223
- autorreplicación, 54, 214, 215
- «basura», 220
- ingeniería genética y, 206
- sistemas vivos y, 26-27, 34, 36, 40
- recombinación, 55
- agricultura
- agrupaciones de industrias basadas en la, 296-303
- cultivos transgénicos Bt, 251-253
- ecológica, 244-246
- «Revolución Verde», 238, 239, 250
- subsidios a la, 325-326
- alcohol, programas de utilización como combustible, 316
- Allen, Paul, 176
- Alternatives Task Force, *ver* Grupo de Estudio de Alternativas
- Altieri, Miguel, 251, 242, 246-247
- America Online (AOL), 202
- anemia drepanocítica, o «de las células falciformes», 230, 231
- AOL-Time-Warner, 202
- Apple Computer, 176
- Arendt, Hannah, 126
- Aristóteles, 108
- ARN, 28, 33, 34, 39, 40, 58, 218, 220-221
- arrecifes de coral, destrucción de los, 265, 266, 267
- arroz transgénico, 249-250
- Asilomar, Declaración de, 207

- ATP, 34
 atractores, 35
 Ausubel, Jesse, 313
 autismo, 90-91
 automóviles, 311-312, 318-323
 autopoiesis, 33
 cognición y, 62
 realidad social y, 117-118
 sistemas vivos y, 33, 36-38, 50-51
 Aventis, 256
- bacterias, 26-27, 216, 244
 cultivos transgénicos y, 251-253
 ingeniería genética y, 206-207
 red planetaria de, 54-56
 simbiogénesis y, 56-58
 Bailey, James, 212
 Banco Mundial (BM), 182, 191, 264, 271
 papel en el capitalismo global, 271
 propuestas de reforma, 285
 Bateson, Gregory, 61
Beginnings of Cellular Life (Morowitz), 42
 Bellagio, Informe, 245, 246
 biología molecular, dogma central de la, 218, 219, 220-225
Biomimicry (Benyus), 261
 biotecnología, 18, 265-263
 agrícola, 207, 208
 alternativa ecológica a la, 243-246
- derechos de propiedad intelectual y, 240
 efectos colaterales de la, 253-255
 el problema del hambre y la, 241-243
 la cuestión de las normas reguladoras de la, 255
 problemas creados por la, 243, 246-255
 promoción por las grandes corporaciones, 237-241
 resistencia popular contra la, 237, 288-289
 supuesta equivalencia con la hibridación tradicional, 248
 comprensión sistémica de la vida y, 258-263
Ver también ingeniería genética
- Blake, William, 129
 Block, Peter, 138
 Braungart, Michael, 309, 310
 Brown, Lester, 290, 336
 Brundtland, Informe, 291
 budismo, 76-77, 101
- calentamiento global, *ver* cambio climático
 cambio climático, 193, 265-269
 Canon, 306
 capitalismo, 178-180
 global, 18, 145, 208, 264
- alternativas al, 283-287
 análisis del, 172-174
 auge del, 178-180
 comprensión sistémica de la vida y, 184
 fatales consecuencias del, 171, 204
 impacto cultural del, 199-204, 270-271
 impacto ecológico del, 190-194, 268-269
 impacto social del, 186-190
 inestabilidad del, 182-184
 instituciones financieras del, 271-272
 movimientos de protesta contra el, *ver* organizaciones no gubernamentales, movimiento de
 necesidad de rediseñarlo, 204, 269-274, 330-331
 nueva economía del, 180-181
 preocupación exclusiva por el beneficio del, 185-186, 193, 208
 relaciones de poder y, 194-199
 valores y normas de funcionamiento del, 269-27
 y la Revolución de la Tecnología de la Información, 173, 175-178, 179
- Cartagena, Protocolo sobre Bioseguridad de, 289
Case Against the Global Economy, The (Mander y Goldsmith), 172, 191
 Castells, Manuel, 127, 129, 145, 172, 173-174, 179, 180-181, 182, 184, 185, 186, 187, 188, 189, 190, 195, 196-197, 199, 203, 204, 278, 281-282
 causas, según Aristóteles, 108
 Celera Genomics, 209, 210
 Center for Ecoliteracy, 282, 292
 cerebro, 57
 «bloqueo en fase» del, 79, 80
 consciencia y, 78-81
 mecanismo, o proceso, de reentrada, 80-81
 relaciones mente-cerebro, 60-61, 65
 Chalmers, David, 68
 chimpancés, 84-88, 98
 Christian Aid, 243
 Churchland, Patricia, 72
 Ciba-Geigy, 256
 clasificación, capacidad de, 93
 clonación, 207-208, 232-237
 cognición, 59
 como proceso vital, 61-65, 71, 96-98
 el inconsciente cognitivo, 92
 espiritualidad y, 98-102
 experiencia corporal y, 92-96, 98-99

relaciones mente-cerebro, 60-61, 65
Ver también consciencia
Collins, Francis, 209
complejidad, teoría de la, *ver* dinámica no lineal
Comte, Auguste, 108, 109
comunicaciones, 83
medios de comunicación, 199-204
realidad social y, 117-118, 119, 122-123
revolución mundial en las, 176
Ver también lenguaje
comunidades
de práctica, 145-148, 149, 150, 155, 156
sostenibles, 22, 273-274
comunismo soviético, colapso del, 174
conocimiento, gestión del, 153-156
consciencia, 59, 61
actividad neural relacionada con la, 78-81
como proceso, 66-68
considerada un misterio, 73
dimensión social de la, 81-84, 106-109
dimensión subjetiva de la, 71, 7
dinámica no lineal y, 69
escuelas en el estudio de la, 71-74
naturaleza de la experiencia

consciente, 68-71
primaria, 67
reflexiva, 67-68
visión neurofenomenológica de la, 73-76, 78
Ver también lenguaje
Consciousness Explained (Dennett), 73
Consciousness in Philosophy and Cognitive Neuroscience, 60
consultores, 164
consumismo, 193, 200, 331-333
contracultura, 177-178
Corphis Consulting, 164
Corporate Knowledge (Tuomi), 153
Council of Canadians, 283
Creutzfeldt-Jakob, enfermedad de, 254
Crick, Francis, 72, 209, 213, 218
crítica, teoría, 111, 113-115
cuántica, teoría, 158
Cuarto Mundo, 190
cultivos transgénicos Bt, 251-253
cultura
capitalismo global y, 199-204, 269-272
realidad social y, 121-123
tecnología y, 128-130
Culture (Williams), 121
Darwin, Charles, 212-213
Dawkins, Richard, 225

Delors, Jacques, 327
Dennett, Daniel, 73
derechos humanos, 273-274
descarbonización, 313, 316
Descartes, René, 60, 70, 139
desigualdades sociales, 189, 190
determinismo, 63, 120
genético, 219
falacia del, 35-36, 211, 217-219, 262-263
dinámica no lineal, 20
consciencia y, 69
genética y, 223-224, 225
realidad social y, 115-116, 122-123
sistemas vivos y, 35, 37, 41, 52, 53, 68
diseño
de edificios, 308-310
estructural, 160-162
urbano, 310
distrofia muscular, 230
Driesch, Hans, 224
Dunn, Seth, 313
Durkheim, Émile, 109
ecoalfabetización, 290-296, 334
ecodiseño, 18, 261, 283, 290-296, 330
agrupación ecológica de industrias, 296-302
de automóviles, 311-312, 318-323
economía de servicio y flujo y, 303-307, 323
en biotecnología, 261-262

en el diseño de edificios, 308-310
en el diseño urbano, 310-312
en una economía basada en el hidrógeno, 316
la energía solar y el, 314, 315-316
los ecosistemas naturales como modelo del, 291
mejor aprovechamiento de los recursos gracias al, 307-308
políticas necesarias para favorecer el, 325-328
principios de, 292, 294
Ecologist, The, 191
ecología
principios de, 292, 294
profunda, 19, 21
riesgos
de la biotecnología agrícola, 249-255
del cambio climático, 193, 265-268
del capitalismo global, 190-194, 269
economía
de servicio y flujo, 303-307, 323
delictiva, 195-197
Economist, The, 315
Edelman, Gerald, 77, 78, 80-81
Ehrenfeld, David, 229, 239, 254
Eigen, Manfred, 52

- electricidad fotovoltaica, 309, 315
 embalaje, 304
 embrión, desarrollo del, 224, 225-226
 encefalopatía espongiiforme bovina, 254
End of Millennium (Castells), 173
 energía
 conversión de la energía luminosa en energía eléctrica potencial, 46
 nuclear, 314-315
 solar, 314, 315-316
 Environmental Protection Agency (EPA), 255
 enzimas, 26, 34, 39, 40, 215, 218
 espacio, percepción del, 94
 esperanza, 337
 espiritualidad, 59, 65, 98-102
 estado red, 197
 estructuración, teoría de la, 111-113
 estructuralismo, 109-111
 estructuras
 disipativas, teoría de las, 37, 38
 emergentes, 160-162
 semánticas, 127-128
 ética
 de la biotecnología agrícola, 241
 de la clonación, 232-237
 las comunidades sostenibles y la, 273-274
 evolución
 de la forma biológica, 47, 54-58
 del lenguaje, 91
 genética y, 212, 213, 216-217
 prebiótica (origen de la vida), 38-58
 exclusión social, 189, 190
 feminismo, 333-334
 fenomenología, 73, 75, 76
 fenómenos emergentes, 230, 231
 Fiat, 306
 fibrosis quística, 230, 231
 Focus on the Global South, 283
 Fondo Monetario Internacional (FMI), 179, 182, 264
 papel en el capitalismo global, 271
 propuestas de reforma, 285
Food Revolution, The (Robbins), 288
 Foro Económico Mundial, 272
 Foro Internacional sobre la Globalización, *ver* International Forum on Globalization
 Foro Social Mundial, 277-278, 283
 Fouts, Deborah Harris, 88
 Fouts, Roger, 85-92
 funcionalismo, 72, 109-110
 fusiones empresariales, 168-169, 185-186
 Gaia, teoría, 28, 56
 Galbraith, John Kenneth, 124, 125
 Gates, Bill, 176
 Gaviotas, Centro de Investigaciones Ecológicas de Las, 300-301, 302
 Gelbart, William, 227
Genetic Engineering-Dream or Nightmare? (Ho), 207
 genética
 diferencias en la expresión de los genes, 222-223
 dinámica celular y, 221
 dinámica no lineal y, 223-224, 225
 estabilidad y cambio en los genes, 212-217
 falacia del determinismo genético, 35-36, 211, 217-219, 261-263
 funcionamiento de los genes, 218
 mutación, 54
 naturaleza física de los genes, 226-227
 redundancia de itinerarios genéticos, 224-225
 secuencias no codificadoras, 220
 transferencia de genes, 55
 visión sistémica del funcionamiento de los genes, 211-212, 217, 223-226
 Ver también ingeniería genética
 Geus, Arie de, 142, 143, 147, 164, 166
 Giddens, Anthony, 111-113, 114, 115, 173, 174, 182
 Gilmore, David, 332, 333
 glaciares, fusión de los, 265-266
 Global Trade Watch, 282, 283, 286
 globalización económica, *ver* capitalismo global
 Goodsmith, Edward, 172, 191, 193, 194
 Goodall, Jane, 86
 Goodwin, Brian, 35, 38
 Gorbachov, Mijaíl, 174, 179
 Gore, Al, 191
 Greenpeace, 279
 Grupo de Estudio de Alternativas (GEA), 283, 284
 Habermas, Jürgen, 111, 113-115
 hambre, problema mundial del, 241-243
 Haussler, David, 209, 210
 Havel, Václav, 174, 272, 337
 Hawken, Paul, 275, 295
 Heidegger, Martin, 73
 Heisenberg, Werner, 158
 herbicidas, 247-248, 251
 Hewes, Gordon, 89
 hidrógeno, base de una nueva economía, 316, 324-325
 pilas de, 316-317, 321, 323, 324-325

- hipercoches, 311-312, 318-324
- Ho, Mae-Wan, 206, 207, 208, 219, 232
- Hoechst, 256
- Holdrege, Craig, 229
- hormona recombinante del crecimiento bovino, 254
- humanos y animales, relaciones entre, 98
- Husserl, Edmund, 73, 75, 76
- Hutton, Will, 174
- IBM, 175, 176
- Images of Organization* (Morgan), 139
- informática, 34, 175-176, 177, 223
- ingeniería genética, 18, 205-211
aplicaciones médicas de la, 228-232
clonación, 207-208, 232-237
comercialización de la, 207, 208
desarrollo de la, 206-2
determinismo genético y, 217-219, 261-263
el Proyecto Genoma Humano y la, 208-210, 259
naturaleza empírica de la, 229, 235
patentes de formas de vida, 256-258
riesgos de la, 207, 208, 235-236
Ver también biotecnología agrícola
- insecticidas, 251-253
- Institute for Policy Studies, 282, 283
- Instituto para los Alimentos y el Desarrollo, 241
- inteligencia artificial, 155
- Interface, 306
- International Forum on Globalization (IFG), 173, 275, 282, 283-287
- Internet, 144, 177, 181, 202, 278, 298
- introspección, 75-76
- Jacob, François, 222
- James, William, 66, 75
- Jobs, Steve, 176
- Johnson, Mark, 92, 93, 95, 96, 97, 98
- Keller, Evelyn Fox, 205, 211, 214, 215-216, 221, 224, 225, 227, 231, 263
- Kellner-Rogers, Myron, 137, 152, 163
- Kent, James, 210
- Kenworthy, Jeff, 311
- keynesianismo, 178-179
- Kimura, Doreen, 90
- Kranzberg, Melvin, 130
- Kuttner, Robert, 183
- Laing, R. D., 74
- Lakoff, George, 92, 93, 95, 96, 97, 98
- Land Institute, 282
- Lappé, Frances Moore, 241-242
- leche de vaca transgénica, 236, 254
- lenguaje, 68, 82, 96
capacidad de los chimpancés para el, 84-88
como sistema de comunicación simbólica, 83-84
gestual, 87-91
orígenes del, 89-91
realidad social y, 106-107, 110
- Lévi-Strauss, Claude, 110
- Lewontin, Richard, 233
- libertad, 63, 120, 332
- liderazgo, 124-125, 162-166
- lípidos, 47-50
- Living Company, The* (De Geus), 142
- Lovelock, James, 28
- Lovins, Amory, 245, 295, 308, 318, 322, 324, 325, 336
- Lovins, Hunter, 295, 308, 325
- Lugari, Paolo, 300, 301
- Luhmann, Niklas, 111, 117-118
- Luisi, Pier Luigi, 30, 33, 39, 40-41, 50, 51
- Mammal Species of the World*, 85
- Mander, Jerry, 172
- Margulis, Lynn, 28, 32, 37, 55, 56, 57, 58, 217
- Marx, Karl, 129
- masculinidad, ideologías acerca de la, 332-334
- Maslow, Abraham, 101
- Maturana, Humberto, 33, 61, 62, 63, 64, 82, 84, 93, 111, 117
- McClintock, Barbara, 217
- McDonough, William, 304, 310
- McLuhan, Marshall, 200
- Meacher, Michael, 276
- Meadows, Donella, 249
- medicina, 228-232
- medios de comunicación, 199-203
- meditación, 75, 76, 77
- membranas, 30-32, 45, 47-50
- Mendel, Gregor, 212, 213
- mente, *ver* cognición; conciencia
- Merleau-Ponty, Maurice, 73-74
- metabolismo, 26, 32-34, 303-304
- metáforas, 95-96, 223
en la gestión empresarial, 138-143, 163
metáfora de las organizaciones consideradas máquinas, 139-142
- Microcosmos* (Margulis y Sagan), 57
- microelectrónica, 175-176
- Microsoft, 176
- Mingst, Karen, 279, 281
- Monod, Jacques, 222
- Monsanto, 239, 240, 241, 251, 253, 256

Morgan, Gareth, 138-139, 140
Morowitz, Harold, 27, 42, 43-50, 53, 54
Myers, Norman, 325

Natural Capitalism (Hawken, Lovins y Lovins), 295, 308
neurofenomenología, 73-76, 78
neuronas
 asambleas de células resonantes, 78, 79
 mecanismo, o proceso, de reentrada, 80-81
 núcleo dinámico, 78, 81
neurorreducciónismo, 72
Newman, Peter, 311
Next of Kin (Fouts), 85
Nonaka, Ikujiro, 154
novedad, 38, 69
 emergencia en las organizaciones, 156-160, 162, 163, 165
Núñez, Rafael, 82

objetividad, ideal en la descripción científica del mundo, 70-71
Oparin, Alexander, 39
Origen de la vida, El (Oparin), 39
Origin of Species, The (Darwin), 213
Organización de las Naciones Unidas (ONU), 285, 286, 287
Organización Mundial del Co-

mercio (OMC), 145, 171, 182, 190, 264, 270, 271
papel en el capitalismo global, 271
propuestas de reforma, 285
protestas contra la, 274-277
Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE), 279, 280, 281
organizaciones humanas, gestión de las, 17
aprendizaje organizativo, 153-156
búsqueda del equilibrio entre diseño y emergencia, 162
cambio organizativo, 133-138, 150-153
comprensión de la interrelación entre las estructuras formales y diseñadas y las redes informales autogénicas, 148-150
comunidades de práctica y, 145-148, 149, 150, 155, 156
el problema de la complejidad y la, 134-135, 137
el papel de los consultores, 164
el poder y la, 153
emergencia de novedad y, 156-160, 162, 163, 165
enfoque mecanicista de las, 139-142, 150-151

la cuestión de la sostenibilidad y la, 134-135, 137
las metáforas en la, 138-143, 163
liderazgo y, 162-166
redes sociales y, 143-145
visión de las organizaciones como sistemas vivos y, 136-137, 139-170
organizaciones no gubernamentales, movimiento de (Coalición de Seattle), 18, 144-145, 173, 274-278, 283, 284
acciones de protesta, 275-277
búsqueda de alternativas a la globalización, 283-287
campana contra el AMI, 279-281
en cuanto sociedad civil para la era global, 278-283
énfasis en la biotecnología agrícola, 288-290
institutos de investigación asociados con el, 282
la comprensión sistémica de la vida y el, 282
organización del, 277
utilización de la red por el, 274-275, 277-278, 279
valores del, 274, 278-279

Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático, 265
parafinas, 50

Parsons, Talcott, 110-111
patentes de formas de vida, 256-258
Pauli, Gunter, 296, 297, 298, 302
Penrose, Roger, 77
Perverse Subsidies (Myers), 325
Philosophy in the Flesh (Lakoff y Johnson), 92
pobreza, 189, 190
poder
 el capitalismo global y el, 194-199
 la gestión de las organizaciones humanas y el, 153
 la realidad social y el, 123-126
Polanyi, Michael, 154
política, 124, 203-204
positivismo, 108-109
Power of Identity, The (Castells), 173
Prigogine, Ilya, 37, 39, 52
productividad, 137-138, 297-298
proteínas, 28
Proust, Marcel, 158-159
Proyecto Genoma Humano, 208-210, 259
Public Citizen, 280
publicidad, 200-202
Pursell, Carroll, 130
realidad social
 autopoiesis y, 117-118
 comprensión sistémica de la, 106-108, 115-116

- consciencia y, 81-84, 106-108
- cultura y, 121-123
- dinámica no lineal y, 115-116, 121, 122
- el impacto social del capitalismo global, 186-190
- el poder y la, 123-126
- en cuanto redes de comunicaciones, 117-118
- la tecnología y la, 128-130
- las estructuras en la, 126-128
- origen de la, 25
- significado y, 118-121
- teorías acerca de la, 108-115
- reciclado de materiales de desecho, 296-303
- red epigenética, 35, 216, 223-224, 227
- repoblación forestal, 301-302
- Research Foundation for Science, Technology, and Ecology, 282, 283
- Revolución de la Tecnología de la Información, 173, 175-178, 179, 194, 199, 205
- «Revolución Verde», 238, 239, 250
- Rhone Poulenc, 256
- Río, Declaración de Principio número 15, 258-259
- Rise of the Network Society, The* (Castells), 172
- Robbins, John, 288
- Robots, 34
- Rocky Mountain Institute, 282, 295, 318, 322
- Rosset, Peter, 241
- sabores, percepción de los dulce, 70-71
- Sagan, Dorion, 57
- Sandoz, 256
- Santiago de la cognición, Teoría de, 61-65, 71, 82, 97
- Saussure, Ferdinand de, 110
- Schumacher College, 282, 293
- Searle, John, 72, 97, 106
- Seattle, Coalición de, *ver* organizaciones no gubernamentales, movimiento de
- Second Nature, 293
- Senge, Peter, 140-142
- Shapiro, James, 216
- Shear, Jonathan, 75
- Shiva, Vandana, 193, 250, 255, 256, 258, 271, 331, 336
- Siegmund, Angelika, 164
- significado, 106-108
- comprensión sistémica de la vida y, 106-108, 120
- realidad social y, 117-121
- Silicon Valley, 178
- simbiogénesis, 47, 56-57, 217
- sistemas vivos, 25-26
- acoplamiento estructural, 62-63, 82
- ADN y, 28-29, 33, 34, 36, 40
- autoorganización, 37, 120, 216-217
- características definitorias, 25, 38-39, 58-59
- características mínimas, 40-42
- cognición y, 61-65, 71, 96-98
- conversión de la energía luminosa en energía eléctrica potencial, 46-47
- creación de protocélulas en el laboratorio, 50-51, 52, 53
- dinámica no lineal y, 35, 38, 41, 51-53, 69
- emergencia de un antepasado universal, 54-58
- espiritualidad y, 98-102
- estructura en los, 126-128
- evolución de las diversas formas de vida, 54-58
- evolución prebiótica (origen de la vida), 38-53
- membranas y, 30-32, 45, 46, 47-50
- metabolismo y, 34-36
- perspectiva ecológica de los, 27-28, 53
- química de la vida, 42-44, 51-53
- reacciones catalíticas y, 51-53
- red epigenética y, 35
- vesículas y, 44-47
- vida celular, 26-36
- Ver también* genética; vida, comprensión sistémica de la
- Smithsonian Institution, 85
- sociedad
- civil global, 278-283
- en red, 173, 194, 279, 281
- soja transgénica, 248, 251
- Soros, George, 204
- sostenibilidad, 204, 290-292, 331
- cambios en los sistemas impositivos para favorecer la, 326-328
- comprensión sistémica de la vida y, 291-292
- comunidades sostenibles, 22, 273-274, 290, 291
- consumismo y, 331-333
- definiciones de la, 291-292
- ecoalfabetización y, 201-292, 293, 294
- ética y, 272-274
- movimiento en pro de la, 333-335
- principios de ecología de la, 290-292
- Ver también* ecodiseño
- «Spirituality as Common Sense» (Steindl-Rast), 100
- Steindl-Rast, David, 100-101
- Stewart, Ian, 35, 53
- Strohman, Richard, 219, 230, 231, 262
- «subsidios perversos» a la industria y la agricultura, 325-326
- sustancia

- extensa (*res extensa*), 60
 pensante (*res cogitans*), 60, 65
 Suzuki, David, 331, 335
- Takeuchi, Hirotaka, 154
 Taylor, Frederick, 140
 tecnología
 ciclos técnicos, 303-306
 cultura y, 128-130
 naturaleza humana y, 89
 Tercer Mundo, 191
 Third World Network, 283
 Tononi, Giulio, 78, 80-81
 trabajadores asalariados, impacto social de la globalización en los, 186-190
 Tuomi, Ilkka, 153-154, 155
- Unión Europea, 197
- «vacas locas», enfermedad de las, *ver* encefalopatía espongiiforme bovina
 Varela, Francisco, 33, 61, 62, 64, 69, 72, 75, 78, 79, 80, 93, 111, 117
 Venter, Craig, 209
 vesículas, 45-51
 vida
 comprensión sistémica de la, 17-21, 32, 61-62
 biotecnología y, 258-263
 capitalismo global y, 184
 comunidades sostenibles y, 291-292
 espiritualidad y, 100
- extensión de la realidad social a la, 106-108, 115-116
 gestión de las organizaciones humanas y, 137-170
 movimiento de organizaciones no gubernamentales y, 282
 redes y, 329-330
 significado y, 106-108, 119-120
 síntesis de forma, materia y proceso, 103-105
 visión sistémica del funcionamiento de los genes, 211-212, 217, 223-225
- corporaciones dedicadas a la explotación de las ciencias de la, 256
 soplo de, 64-65, 100
 virus, 33, 206-207, 249
 Volcker, Paul, 183
- Wall Street Journal, The*, 290
 Warkentin, Craig, 279, 281
 Washoe (chimpancé), 87-88
 Watson, James, 209, 218
 Weatherall, David, 230
 Weber, Max, 109, 126, 173
 Wenger, Etienne, 146, 147-148, 152
 Wheatley, Margaret, 137, 152, 155, 162, 163
 Whitehead, Alfred North, 156
- Wiesel, Elie, 174
 Williams, Raymond, 121
 Wilmut, Ian, 232, 234
Wirtschaft und Gesellschaft (Weber), 173
World Hunger: Twelve Myths, 241-242
 Worldwatch Institute, 268, 282, 290
- Wozniak, Stephen, 176
 Wuppertal, Institut für Klima, Umwelt und Energie de, 282
- Zero Emissions Research and Initiatives (ZERI), 282, 296
 Zurich, Instituto Federal de Tecnología de, 50

<i>Agradecimientos</i>	11
<i>Prefacio</i>	17
Primera parte:	
LA VIDA, LA MENTE Y LA SOCIEDAD	
1. La naturaleza de la vida	25
2. La mente y la consciencia	60
3. La realidad social	103
Segunda parte:	
LOS RETOS DEL SIGLO XXI	
4. Vida y liderazgo en las organizaciones	133
5. Las redes del capitalismo global	171
6. La biotecnología en la encrucijada	205
7. Cartas nuevas	264
<i>Epílogo: Aplicar el sentido común</i>	329
<i>Notas</i>	339
<i>Bibliografía</i>	361
<i>Índice temático</i>	375

El autor de *El tao de la física* y *La trama de la vida* explora las profundas implicaciones sociales de los más recientes principios científicos, y propone un innovador marco para utilizarlos con el fin de comprender y resolver algunas de las cuestiones más importantes de nuestro tiempo.

La investigación científica estuvo basada, durante casi toda la historia, en el pensamiento lineal. Pero la década de 1980 trajo un cambio revolucionario. Con la llegada de ordenadores mucho mejores y más potentes, los científicos pudieron aplicar con más facilidad que nunca la teoría de la complejidad –pensamiento no lineal– a procesos científicos. Capra estuvo en la vanguardia de esa revolución y, en *La trama de la vida*, extendió su alcance mostrando el impacto de la teoría de la complejidad en los organismos vivos. Ahora, Capra cruza otra frontera, aplicando los principios de la teoría de la complejidad a un análisis del amplio campo de las interacciones humanas.

Capra postula que, si queremos mantener la vida en el futuro, los principios en los que se basan nuestras instituciones sociales deben ser compatibles con la organización que la naturaleza ha desarrollado para sostener «la trama de la vida». Con argumentos lúcidos y convincentes, explica cómo las ideas teóricas de la ciencia pueden ser aplicadas a los asuntos prácticos de nuestro tiempo. Abarcando todos los aspectos de la naturaleza humana y de la sociedad, el autor discute asuntos tan vitales como la dirección de las organizaciones humanas, los desafíos y peligros de la globalización económica, y la naturaleza y los problemas de la biotecnología. Capra concluye con un plan para diseñar, como alternativa a la globalización económica, comunidades y tecnologías ecológicamente sostenibles. Este brillante y agudo examen de la relación entre la ciencia y nuestros sistemas sociales provocará un gran debate en la comunidad científica y nos ayudará a pensar de una manera nueva sobre el futuro de la humanidad.

«Un nuevo discurso fascinante sobre la interconexión entre todas las cosas vivas (y algunas no vivas), desde la primera forma de vida de las protocélulas al desarrollo del lenguaje, la cultura, las costumbres sociales, la espiritualidad y la economía global. Si hay un libro que no sólo mueve a los lectores a pensar a gran escala, sino que los coloca en el centro mismo del problema, mientras viajan por las conexiones y los circuitos cerrados continuos de "la trama de la vida", es éste» (*Publishers Weekly*).

«Un análisis penetrante de lo que es un sistema –un sistema ecológico, un sistema social, un sistema económico, cualquier tipo de sistema. Y, al hacerlo, va hasta la raíz de lo que está sucediendo en el mundo ahora mismo. Más que el resultado del trabajo de un revolucionario, el análisis de Capra es sereno y racional. Pero para aquellos que se sienten un poco confundidos o indefensos ante un futuro impredecible, ésta es la gran introducción tanto a la naturaleza del problema como a la lógica de su solución» (John McCrone, *The Guardian*). Fritjof Capra, doctor en física teórica en la Universidad de Viena, es autor de *El tao de la física*, *El punto crucial* y *Sabiduría insólita*, siendo asimismo coautor con David Steindl-Rast de *Pertenecer al universo*, obra ganadora del American Book Award en 1992. En la actualidad es director del Center for Ecoliteracy de Berkeley, California. En esta colección se ha publicado *La trama de la vida*, una de sus obras mayores.

