

Propiocepción: cuando el entorno se hace cuerpo **Lynn Margulis, Luis Rico y Dorion Sagan**

Metabolismo y autopoyesis

Metabolismo es el nombre que se da a la actividad química de los sistemas vivos, es decir, a la incesante construcción y rotura de los componentes subvisibles. El metabolismo puede definirse como la suma de la red de transformaciones químicas y energéticas de los seres vivos que están mediadas por enzimas; es el movimiento constante de la materia que se transforma continuamente en los seres vivos y que cesa cuando el sistema muere. Si la fisiología es el estudio de los organismos vivos y de sus partes, el metabolismo puede considerarse la manifestación química de esas funciones.

Por otra parte, la autopoyesis, término acuñado por Humberto Maturana y Francisco Varela en 1980, alude a la naturaleza viva de los sistemas materiales. La palabra autopoyesis es una combinación de las palabras griegas *autos* (él mismo) y *poiesis* (acción, del griego, hacer); esta última es la misma raíz que da origen a la palabra poesía. Se refiere a las actividades dinámicas, de autoproducción y automantenimiento de todos los seres vivos. Los sistemas autopoyéticos, a diferencia de los mecánicos, producen y mantienen sus propios límites (siempre membranas celulares, o bien, adicionalmente, piel, exoesqueleto o corteza). Dichos sistemas modulan incesantemente su composición, algunos incluso regulan su temperatura interna.

Los sistemas autopoyéticos metabolizan, mientras que los sistemas que no son autopoyéticos no lo hacen. Las proteínas, los virus, los plásmidos o los genes no pueden por sí mismos realizar ningún tipo de metabolismo; aislados no son nunca autopoyéticos. El metabolismo incluye el intercambio de gases y líquidos (por ejemplo, respirar, nutrirse y excretar); es la manifestación detectable de la autopoyesis. Ésta requiere siempre una fuente de energía. Las energías luminosa y química son esenciales para la autopoyesis, es decir, para mantener la vida.

La entidad autopoyética más sencilla y pequeña que se conoce es una célula bacteriana. La mayor probablemente sea Gaia¹: la vida y su comportamiento regulador del ambiente de la Tierra (Lovelock, 1988). Las células y Gaia muestran unas propiedades generales de entidades autopoyéticas: cuando el ambiente a su alrededor cambia, mantienen su integridad estructural y su organización interna siempre a expensas de la energía solar o química, rehaciendo e intercambiando sus partes.

En el centro de la visión autopoyética está la idea de que los componentes materiales de cualquier forma de vida se desplazan incesantemente: circulan por la Tierra por medio de unas transformaciones químicas y un transporte físico que dependen siempre de la energía que procede del Sol o de las rocas (oxidación de gases como hidrógeno, sulfhídrico, amoníaco o metano). La Tierra se comporta de acuerdo con la fisiología y no con la mecánica. Nosotros, las personas (*Homo sapiens*, una más entre los, quizás, 30 millones de especies vivientes), aceleramos la dinámica del sistema Tierra, pero no lo dominamos. Nosotros, las personas, debido a las manipulaciones constructoras y a las reconducciones del agua para la obtención de electricidad, debido al cemento que hace desaparecer prados y a la conversión de los bosques tropicales en hamburguesas, no podremos ser nunca productivos; sólo podemos consumir los productos orgánicos que han fabricado los autótrofos verdes (cianobacterias, algas y plantas) o bacterias quimioautótrofas como las que oxidan el hidrógeno. En la visión autopoyética, los únicos organismos que son verdaderamente productivos son los fotoautótrofos que convierten la energía solar en compuestos orgánicos, es decir, en alimento, y unas cuantas bacterias quimioautótrofas que utilizan la energía geoquímica y el CO₂ para generar compuestos orgánicos.

La visión del mundo neodarwinista, mecanicista y no autopoyética, es completamente coherente con los principales mitos de nuestra civilización. Una civilización dominante que se aprovecha de los más débiles y cuyos miembros pueden identificarse porque las monedas de los países que la integran pueden intercambiarse.

En la civilización planetaria del dinero, los recursos geológicos y biológicos parecen infinitos. Es más, su propia existencia se supone determinada por la actividad humana. Esos mitos de nuestra civilización tecnológica no pueden ajustarse a una visión gaiana autopoyética de la historia natural, como la del jefe Seattle cuando dice: "La Tierra no pertenece al hombre, el hombre pertenece a la tierra. Todas las cosas están conectadas, como la sangre que nos une a todos" (Campbell, 1983). Los neodarwinistas tienen que rechazar esa percepción de los indígenas americanos, así como cualquier otra visión no mecanicista, porque les produce una disonancia psíquica. En el mundo de las máquinas de hacer dinero, la Tierra pertenece a la humanidad. En el marco de la autopoyesis, todo es observado por un observador que se encuentra inmerso en lo mismo que observa; en el mundo mecánico, el observador es objetivo y se mantiene separado de lo que está observando. Es aconsejable sustituir las visiones mecánicas por otras basadas en la fisiología y la autopoyesis.

Todos los organismos necesitan alguna fuente de energía, de electrones y determinados elementos (como mínimo, carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y fósforo) cuyas cantidades están determinadas por la fisiología, la estructura y la historia natural del propio organismo. La organización está mantenida por el metabolismo. Sin el movimiento continuado de los componentes materiales (es decir, el metabolismo, que comprende el aporte de nutrientes, la circulación de agua y la eliminación de residuos) que forman el microorganismo, el animal, el hongo o la planta, la integridad está amenazada; se produce el estrés y finalmente la muerte.

Una lección del concepto autopoyético de la biología es que hay muchas amenazas posibles para la autopoyesis de cualquier organismo. Entre estas amenazas están la falta de alimento o de espacio vital y un equilibrio inadecuado de sales. Un término que se suele emplear para cualquier amenaza general a la integridad autopoyética es "estrés". Todos los organismos, desde las bacterias nadadoras hasta las algas que se deslizan por la superficie del mar o hasta los estudiantes universitarios segregadores de hormonas, pueden actuar de alguna manera para reducir su estrés. Un tipo de comportamiento que contrarreste el estrés, lo evite o lo reduzca, es intrínseco a todas las entidades autopoyéticas. Las que no lo son no responden, son pasivas. Un automóvil o una molécula de ADN, por ejemplo, no pueden actuar frente al estrés.

Darwin reconoció que todas las poblaciones, si los recursos fueran ilimitados, podrían crecer exponencialmente hasta que el límite fuera únicamente espacial. Él denominó "selección natural" a los numerosos "controles" que impiden que las poblaciones alcancen su potencial biótico. El hecho de que el potencial biótico en realidad nunca se alcance, es la selección natural de Darwin. Sin embargo Darwin se equivocó al no enfatizar el enorme impacto que el crecimiento de las poblaciones causa en el medio; que los efectos ambientales del crecimiento y del metabolismo de las poblaciones de organismos son en sí mismos potentes causas de selección natural. Al acentuar la competencia directa entre individuos por los recursos como principal mecanismo de selección, desde Darwin (y especialmente sus seguidores), se tuvo la impresión de que el ambiente era simplemente un escenario estático de "naturaleza, sangre en los dientes y en las garras" (Herbert Spencer, 1898). De este modo, Darwin separó a los organismos de su ambiente. Desde las bacterias hasta las secuoyas, desde el fitoplancton hasta los castores, el crecimiento y el metabolismo de todos los organismos modifica el medio en el que viven. El científico ruso Vernadsky (1863-1945), pionero en el campo de la biogeoquímica, reconoció que la separación ambiente-biota era artificial. Como la mayor parte de

su trabajo, la concepción de Vernadsky de la interacción entre el medio y la biota apenas se conoce en occidente: muy pocos científicos occidentales reconocieron la contribución inicial que hizo Vernadsky al pensamiento de la ecología moderna. Al insistir en la competencia entre organismos como principal fuente de selección y al no tener en cuenta la reciprocidad química entre la biota y el ambiente, los neodarwinistas han ampliado estos errores por omisión, y reflejado su preocupación por la concepción victoriana y romántica de la evolución como una competencia entre animales, una batalla prolongada y sangrienta. Desde luego, la magnífica clarividencia de Darwin no era errónea en sí misma, aunque era incompleta, pero la visión neodarwinista nos resulta profundamente equivocada.

Simbiosis

¿Cómo aparece por primera vez la novedad compleja en seres vivos? ¿Cómo se extiende? ¿Cómo cambian con el paso del tiempo los cuerpos de plantas, animales y microbios? Se trata de una historia de la que aún no se han escrito todas sus líneas, porque la mayoría de sus anotaciones están registradas en los crípticos lenguajes de las ciencias de la bioquímica, genética, protistología, biología celular y microbiología, entre otras. El lenguaje del cambio evolutivo no son ni las matemáticas ni la morfología generada por ordenador. Ciertamente tampoco la estadística. Más bien parece que la historia natural, la ecología, la genética y el metabolismo necesitan ser suplementados con un conocimiento fidedigno sobre los microbios. La fisiología microbiana, la ecología y la geología son esenciales para la comprensión del proceso evolutivo. El comportamiento de los microbios, tanto dentro de sus propias poblaciones como en sus interacciones con otros, determinó el curso enrevesado y expansivo de la evolución. El mundo vivo por debajo de lo visible subyace, en última instancia, al comportamiento, el desarrollo, la comunicación, la ecología y a la evolución del mundo de las formas de vida mucho mayores, del que formamos parte y con el cual coevolucionamos. Tal vez haya quien se sienta disminuido por esta perspectiva de una evolución puntuada y movida por las uniones entre microbios pero, haciéndonos eco de las palabras de Darwin, creemos que en esta visión de la vida también hay grandeza. Aparecen formas y variaciones innumerables, pero no sólo de forma paulatina y aleatoria, sino también súbitamente y con toda su fuerza, por medio de la seducción de extraños, de la implicación y la interiorización del otro en sí mismo -vírica, bacteriana y eucariótica-, en genomas cada vez más complejos y misceláneos. La adquisición del otro reproductor, del microbio y su genoma, no es un mero espectáculo anexo. La atracción, unión, fusión, incorporación, cohabitación, recombinación -tanto permanente como cíclica- y demás acoplamientos prohibidos, son las fuentes principales de la variación que Darwin echó en falta. Sensibilidad, seducción, unión, adquisición, fusión, acomodación, perseverancia y el resto de capacidades de los microbios, no son en absoluto cuestiones irrelevantes para el proceso evolutivo, sino todo lo contrario. La incorporación e integración de genomas "ajenos" -bacterianos u otros- condujo a variaciones heredables significativas. La adquisición de genomas ha sido crucial en el proceso evolutivo a lo largo de la dilatada y compleja historia de la vida.

La fuente principal de variación hereditaria no es la mutación aleatoria, sino que la variación que conduce a la novedad evolutiva, procede de la adquisición de genomas. Conjuntos enteros de genes, e incluso organismos completos con su propio genoma, son asimilados e incorporados por otros. Cuando estos organismos incorporados evolucionan, perdiendo su autonomía (dejan de ser organismos "independientes"), en la generación de nuevos orgánulos celulares, a este proceso se le llama simbiogénesis.

Simbiogénesis

¿Qué es la simbiogénesis y cómo está relacionada con la simbiosis? La simbiosis estable a largo plazo que desemboca en cambio evolutivo recibe el nombre de "simbiogénesis". Se trata de un término evolutivo que se refiere al origen de

nuevos orgánulos, tejidos, órganos, organismos e incluso especies y familias mediante el establecimiento de simbiosis permanentes de larga duración. Estas asociaciones, verdaderas fusiones biológicas que se inician en forma de simbiosis, constituyen el motor de la evolución de las especies. La simbiosis es, simplemente, la vida en común, en contacto físico, de organismos distintos entre sí. Definida originalmente por Heinrich Anton de Bary (1831-1888), la simbiosis consistía en la cohabitación de “organismos de denominación distinta”. Las simbiosis son asociaciones de largo recorrido. Organismos de distintas especies se unen y dan pie a un tercer organismo. Veamos un ejemplo muy específico de simbiogénesis entre organismos vivos. Vamos a presentar a los animales fotosintéticos, verdaderos híbridos entre alga y animal. Las babosas, esos conocidos moluscos sin cáscara que se comen las plantas de tu jardín, tienen unos parientes fotosintéticos marinos de color verde. Cuando esas babosas verdes son jóvenes, comen ciertas algas verdes que no llegan a digerir, por lo que éstas pasan a formar parte de los tejidos del animal hasta su muerte. Todos los miembros adultos de esta especie son siempre verdes. Estas babosas subacuáticas no tienen que preocuparse por la comida. Desde que llegan a la etapa adulta, dejan de comer. Para alimentarse se arrastran hasta la orilla donde, igual que a las plantas, les basta con tomar el sol. Son permanente y discontinuamente distintos de sus antepasados grises, comedores de algas. Los animales verdes nos proporcionan ejemplos gráficos de simbiosis que desembocarían en simbiogénesis.

Como especie elevadamente social que somos, preocupada frecuentemente por las relaciones entre nosotros mismos, tendemos a olvidar nuestras relaciones con las demás especies. Biológicamente, por ejemplo, no existe cosa tal como una simbiosis entre una madre y su hijo aún no nacido. La simbiosis es siempre una estrecha relación física entre organismos de distinta especie. Los humanos tenemos una relación simbiótica con los ácaros de las pestañas. La mayoría de nosotros ignoramos el hecho de que vivimos simbióticamente con estos organismos, o con las bacterias de las axilas o de los intestinos, o con las espiroquetas del tejido de nuestras encías. Disfrutamos todos de relaciones silenciosas e inconscientes con microbios.

La evolución es la ciencia de la conexión, y ésta no termina con los vínculos entre humanos y simios, o entre éstos y otros animales, o entre otros animales y microbios: lo vivo y lo no vivo se relacionan de forma fundamental. Los humanos estamos conectados geológicamente a la biosfera, a su estructura material y energética. En la Tierra no hay ningún organismo en estado libre. Todos los organismos están unidos de manera ininterrumpida e indisoluble; primero, a través de la nutrición y de la respiración, y después con el material que lo circunda y con su medio energético (Vernadsky, 1945).

Desde esta perspectiva circular, sistémica e interconectada, los artefactos humanos, como las máquinas, la contaminación e incluso las obras de arte, ya no son vistos como algo separado de los procesos de retroalimentación de la naturaleza. Cada uno de los organismos que vive actualmente o que ha vivido en el pasado comparte una continuidad física con todos los demás. Todos los organismos forman parte de un único sistema autopoyético, continuo y con límites, que nunca se ha interrumpido desde el origen de la vida.

Gaia, metaciencia

Quizás la mejor manera de considerar a Gaia es aceptando la afirmación de que la atmósfera y los sedimentos de la superficie de la Tierra forman parte del sistema vivo. La vida no se “adapta” a un ambiente pasivo desde el punto de vista de la física y la química, sino que, de manera activa, produce su medio y lo modifica. En contraste con un mundo mecánico y centrado en la física, la biosfera metabolizadora se autorregula fisiológicamente. El oxígeno para la respiración, el aire húmedo y los mares ligeramente alcalinos son el resultado del crecimiento y el

metabolismo de un número incontable y siempre cambiante de bacterias, plantas y algas, que producen oxígeno usando para ello energía solar.

La visión gaiana del planeta es autopoyética; la superficie de la Tierra está viva, con un megametabolismo conectado, que lleva a sistemas de modulación de la temperatura y las características químicas, en los que los humanos desempeñan un papel pequeño y *epifenomenal*.

Unos cuantos miles de millones de seres humanos comerciantes, colonizadores, guerreros, constructores de ciudades, reproductores y dependientes en gran medida de la tecnología viven en la superficie de la Tierra. Para sobrevivir en las cifras actuales de población, parece ser que debemos adoptar algún tipo de versión de la hipótesis de Gaia. La ciencia de Gaia va más allá de la metáfora que afirma que el planeta no es sólo una casa (en griego *oikos*, que es la raíz del término ecología), sino también un cuerpo. Y un cuerpo se diferencia de un lugar inerte en que siente y reacciona; realmente, aunque la diferencia entre referirse a la Tierra como un "planeta viviente" o un planeta que está "vivo" parece baladí, el debate surgido ha causado discordia y malestar entre biólogos y geólogos.

Admitir que la Tierra está viva es deslizarse hacia el territorio, prohibido por la ciencia, del animismo (de personificación, antropomorfismo y de creencias mágicas narcisistas que hace mucho tiempo han sido vencidas por el progreso de la ciencia "objetiva"). Gaia ha estrechado el espacio entre lo orgánico y lo inorgánico, lo animado y lo inanimado. En la teoría de Gaia, por ejemplo, la atmósfera se convierte en parte de la biosfera, una especie de sistema circulatorio planetario; los suelos, en los que los microorganismos son muy abundantes, ya no son sustratos inertes, sino más bien tejidos vivos en la superficie del planeta. De hecho, en la biosfera viviente están comprendidas, de manera provisional, no sólo la atmósfera y sus nubes, sino también la tectónica de placas, la modulación de la salinidad del mar y una regulación de la temperatura planetaria que se mantiene dentro del mismo rango desde hace más de 3.000 millones de años y es parecida a la que rige en los animales. Ese nuevo tipo de atención a lo que nos rodea acarrea un cambio de valores y da a nuestra civilización técnica una oportunidad para reconocer, alterar e incluso revertir el impacto humano en el ambiente.

El ambiente y el organismo no forman una casa, sino un cuerpo. Según la visión "de libro de texto" la vida comprende millones de seres independientes que viven en ambientes inanimados. Según la teoría de Gaia, en cambio, no son componentes químicos inorgánicos; los sedimentos y la atmósfera forman parte de un sistema vivo completo. Desde la perspectiva de Gaia, la contaminación del aire a escala planetaria, debida a la actividad humana, no afecta sólo a la atmósfera sino también a nosotros y al resto de los seres vivos que conforman la biota. La retroalimentación entre los reinos biológico y geológico es tan intensa que considerar uno aislado del otro es un ejercicio de frustración. Los meteorólogos aún afirman que ellos ni siquiera consideran la química o la biología de la Tierra. Los químicos atmosféricos afirman que la meteorología se encuentra dentro de su territorio. Ninguna ciencia suele referirse a la biología. Dicha territorialidad es perjudicial para comprender el cuerpo planetario. Gaia, a pesar de haber sido etiquetada de inestable y de "acientífica", ha estimulado muchas líneas de investigación en los procesos del sistema *Earth System Science*, la Tierra como entidad sistémica (Schneider, Crist Boston, Miller, 2002, MIT Press/*Scientists Debate Gaia: The New Century*, Gaia 2000, Valencia).

Gaia nos obliga a considerar los efectos acumulativos, es decir, globales de los fenómenos locales. El mayor obstáculo para estudiar estos procesos es la fragmentación de la ciencia en muchas disciplinas, departamentos, edificios, revistas y sociedades. Los guardias académicos usando el neodarwinismo como arma inquisitorial, sobreponen una superestructura gigantesca de mecanismo y jerarquía que impide que la biosfera palpitante sea percibida directamente.

Conocemos los efectos de la superpoblación. Sabemos que la basura nunca se elimina, sino que circula. Sabemos que la materia nunca se pierde sino que se transforma. Sabemos que hay límites naturales al crecimiento de cualquier población. Esto no puede enseñarse porque nuestra cultura nos dice que los humanos dominan la Tierra. Y la cultura sólo ve dinero. Se nos habla de máximo crecimiento económico como un valor intrínsecamente positivo, o de la ralentización del crecimiento, como algo necesariamente negativo. El avance de la sociedad se mide en número de coches vendidos. Pero sabemos que el hacinamiento produce destrucción. Sabemos que produce luchas y otros extremos de comportamiento. Cuando los mamíferos viven muy amontonados y pasan hambre, se produce un comportamiento agresivo. Sabemos todo esto. ¿Por qué no hacemos algo para remediarlo? Porque nuestras presunciones culturales contradicen este conocimiento. Porque somos hijos de una religión monoteísta judeocristiana, musulmana, neodarwinista o cualquier otra. El contexto cultural en que nos han educado nos impide la comprensión de la Tierra como una unidad.

Todo científico investiga en un contexto cultural. No lo podemos remediar y es muy duro para los investigadores de hoy ver hasta qué punto nuestra investigación está dictada culturalmente. Como ya documentó Ludwig Fleck (1936, traducido al inglés en 1979), el conocimiento profesional se ajusta a la realidad política. De ahí que haya biólogos que reciben becas Guggenheim para calcular el altruismo, la competencia y exactamente la cantidad de más que los padres invierten en sus hijos machos respecto a las hembras (Robert Trivers, Parental investment).

El Yo ininterrumpido

De todos los organismos que viven hoy sobre la Tierra, sólo los procariotas (las bacterias) son individuales. Todos los demás seres vivos (“organismos”, como los animales, las plantas y los hongos) son comunidades complejas desde el punto de vista metabólico, formadas por seres de diferente procedencia íntimamente integrados. Es decir, lo que generalmente entendemos como un animal individual, por ejemplo, una vaca, es reconocible como una comunidad fuertemente integrada de varias entidades autopoyéticas de distintos tipos e historias que, al funcionar conjuntamente, forman una entidad nueva: la vaca. Resumiendo, todos los organismos mayores que las bacterias son intrínsecamente comunidades.

En los procesos de este metabolismo ubicuo, cada entidad viva se encuentra contenida materialmente dentro de, como mínimo, una membrana delimitadora producida por ella misma. Todas las entidades autopoyéticas construyen, adaptan y reconstruyen continuamente estas estructuras físicas dinámicas que marcan sus límites.

Pero la membrana no es una pared concreta, literal, inalterable: es una barrera semipermeable automantenida y en cambio constante. La idea de membrana semipermeable permite saltarnos niveles organizativos, desde la célula intraorganísmica al organismo celular, al ecosistema organísmico y a la biosfera. Tanto si discutimos la desaparición de las membranas de las bacterias endosimbióticas en su paso para convertirse en orgánulos, como el derrumbe del Muro de Berlín en la sociedad humana global, tenemos que revisar esta visión rectilínea del yo, del yo delimitado. Alan Watts se refirió peyorativamente a éste como el “ego encapsulado en una piel”; lo cierto es que, a pesar de tener tan profundamente arraigado este sentimiento del “yo” que nos parece tan profundamente natural, no es ni histórica ni culturalmente universal. Por ejemplo, la tradición budista cuestiona y trasciende las fronteras del ego. Los melanesios de Nueva Caledonia no creen que el cuerpo sea un elemento que ellos poseen: no lo ven como “uno de los elementos del individuo” (Leenhardt, 1979). Igualmente los poemas épicos homéricos nunca mencionan ningún cuerpo –esa entidad encerrada de carne que en la actualidad damos por sentado que define al ser material–, sólo hablan de lo que nosotros consideramos partes del cuerpo, por ejemplo: “piernas veloces” y “brazos vigorosos” (Snell, 1960). “La idea del “yo en una caja” –escribe

Norbert Elias- es un motivo recurrente de una filosofía moderna, desde el sujeto pensador de Descartes, las mónadas sin ventanas de Leibniz y el sujeto de conocimiento de Kant (quien desde su apriorístico caparazón nunca puede penetrar en la "cosa en sí"), hasta la más reciente extensión de la misma idea básica del individuo enteramente autosuficiente" (Elias, 1978).

Como positivistas, materialistas o reduccionistas en la tradición científica occidental, tendemos a pensar que la imagen del cuerpo como una adecuada superficie topológica cerrada es una evidencia necesaria y suficiente para el yo. Sin embargo, tal como nosotros -e incluso este "nosotros" de coautores tiene que ponerse entre comillas puesto que ponderamos el yo, el sujeto, la persona- dimos a entender, el yo egotista es sólo claro en el sentido de una imagen especular fundamentalmente ficticia. Destacando el tacto más que la visión, en un contexto sensual, es fácil imaginar una concepción del entorno del ser humano empezando por la uñas, pelo, huesos y otras sustancias no consideradas ya partes del cuerpo porque están desprovistas de sensibilidad. A la inversa, la introyección tecnológica ejemplificada por aparatos de televisión y la teleportación (automóviles, aviones, etc.) sugiere una extensión del ser humano en lo que anteriormente hubiese sido considerado el ambiente. Por lo tanto, el cuerpo, las bases materiales o corpóreas del "yo", no tienen una absoluta fijación topológica independiente del tiempo y encapsulada en la piel. Es una construcción sociolingüística psicoanalítica, evolutiva. Moco, excremento, orina, saliva, cadáveres, pornografía y otras separaciones y representaciones marginales del cuerpo humano cuestionan su hegemonía esencial, su naturaleza universal.

La ruptura del límite señala la desintegración o la pérdida de la condición de autopoyesis. Vemos ahora una posible correspondencia entre la "percepción-del-yo" y la "entidad autopoyética" o "individuo vivo". Todos los individuos, todos los organismos vivos se automantienen de manera activa. Desde el principio del eón Arqueano (hace 3.800 millones de años) y sus habitantes bacterianos, pasando por los "otros eones y sus correspondientes habitantes entidades", la "percepción del yo" parece ser un sinónimo de la naturaleza de la autopoyesis; los límites resisten la ruptura, mientras que la bioquímica actúa para mantener la integridad. Es la naturaleza de la vida para interactuar con el mundo material para integrar incesantemente a sus componentes, rechazando, seleccionando y discriminando entre posible alimento, material de desecho o fuentes de energía de manera que mantengan la integridad del organismo.

Lo que es notable es la tendencia de las entidades autopoyéticas a interactuar con otras entidades autopoyéticas reconocibles. Dichas interacciones pueden ser neutras, como entre una ameba y un grano de arena; es decir, que no ocurra ninguna reacción evidente. En cambio, dos organismos pueden ser destructivos, desintegradores, uno respecto del otro. Uno puede producir enzimas celulares que destruyan al otro y, al liberarlo de su autopoyesis, puede desintegrarlo en sus componentes metabólicos y estructurales, que son utilizados como alimento en una relación trófica en la que el ser autopoyético aún intacto consume e incorpora los componentes químicos de su víctima. Aunque las relaciones entre organismos pueden ser desintegradoras o neutras, hay algunas interacciones que van más allá de la destrucción y llevan a fusiones integradoras. Son éstas las que consideramos más fascinantes. Dichas fusiones (fecundación, integración de los miembros de una simbiosis) conducen a entidades autopoyéticas de tamaño y complejidad aún mayor. Por ejemplo, la integración de un hongo atacando un alga para conseguir nutrientes con frecuencia ha llevado a un equilibrio entre las respuestas desintegradoras del hongo y el alga. Finalmente se forma un líquen. Un líquen no es un hongo ni un alga; como tal "líquen", es un complejo simbiótico compuesto que, en sí mismo, es una entidad autopoyética con un nivel de organización más complejo.

Dualismo y más allá

El brillante matemático católico francés, René Descartes (1596-1650), estableció la dicotomía mecanicista al declarar una separación universal entre la *res extensa*, la realidad material determinada de la naturaleza, y la *res cogitans*, la realidad del pensamiento libre de las personas y de Dios. Descartes sostenía que el único ser que comparte atributos con Dios es el ser humano en la medida que tiene alma. Los animales, aunque parece que sientan dolor, en realidad son máquinas que carecen de alma.

Si bien la representación que hizo Descartes del universo como un inmenso mecanismo condujo a la expansión de la investigación científica, la aceptación de dicho universo cartesiano mecanicista tuvo también resultados negativos. Basándose en la autoridad de Descartes, se clavaba a los animales vivos sobre mesas de disección para ilustrar su anatomía y fisiología sin remordimiento alguno. Considerada insensible e inanimada, la naturaleza fue analizada sin miedo a ir más allá de unos límites establecidos. Se podía experimentar impunemente con la naturaleza, que comprendía formas de vida "inferior" que actúan mecánicamente y como autómatas. La filosofía de Descartes proporcionó una justificación formal -la licencia cartesiana- para investigarlo prácticamente todo en un esfuerzo por descubrir el mecanismo mediante el cual Dios había "construido" el mundo fenomenológico. Descartes dividió la realidad en dos. La licencia cartesiana separó la materia de la forma, el cuerpo del alma, la naturaleza que ocupaba un espacio exterior de la conciencia interna. A diferencia del pensamiento y de la sensibilidad, la materia, el cuerpo y la naturaleza podían ser cuantificados, comparados y finalmente ser comprendidos mediante leyes matemáticas.

Creemos que, en última instancia, la licencia cartesiana se ha mostrado como una especie de falsificación. Después de tres siglos de renovación implícita, el permiso sigue siendo válido, si bien la huella delicada, muy desgastada o sencillamente ignorada, es apenas visible. Sin embargo, la fina huella que exime a los humanos y les hace maquinar el "mundo objetivo" no es más periférica a la licencia cartesiana que la advertencia médica del peligro para la salud escrita en un paquete de tabaco. La razón de ser, la base racional que autorizaba a los científicos a seguir el espíritu de Descartes para realizar su trabajo y recibir el beneplácito de la sociedad, incluso de la Iglesia, aún está implícita en la licencia de Descartes. A lo largo de muchos siglos, las religiones judeocristianas han colocado al "hombre" (hombre como "hecho a imagen de Dios") en la parte alta de la escala biológica. En la mente cultural del mundo ilustrado, las personas quizás se sitúan algo por debajo de los ángeles, pero ciertamente por encima de cualquier otra forma de vida.

La revelación científica del mecanismo, que es una parte del nuevo atrevimiento de la investigación, contribuyó a desestabilizar la monarquía en Europa. Si el universo, hecho por Dios, es un autómata gigante que se activa a sí mismo, ¿por qué tendría la gente que obedecer a un rey o a un señor cuyo poder, que emanaba de Dios según el sistema feudal de la Edad Media, ya no respondía a ningún decreto divino?

La influencia cartesiana fue profunda. A finales del siglo XIX, el pensamiento occidental sufrió un contratiempo metafísico. La disminución de la importancia de la mente y el cuerpo humano recibidos de Dios tenía cada vez más apoyo de la visión del mundo científica y escéptica que se estaba difundiendo. Nuestros antecesores precientíficos consideraban que el universo y todo lo que se movía estaba vivo. Los seres dejaban de tener vida sólo cuando paraban de moverse, sólo cuando su espíritu los abandonaba por el truco mágico y natural de la muerte. Pero, ahora, las cosas han cambiado: en el nuevo mundo mecanicista y científico de Galileo, Descartes y Newton, el universo y todos los seres que contiene se consideran inanimados (Simmons, 1996). El rompecabezas científico se desplazaba desde el misterio de la muerte en un cosmos vivo al de la vida en uno muerto.

Pero si somos algo más que autómatas cartesianos, después de Darwin también tienen que serlo todos los demás seres vivos. De lo contrario, nos exponemos a una gran incoherencia.

Vernadsky y la omnipresencia de la vida

Esta herencia cultural dualística presenta un reto continuado a la ciencia. Dado lo limitado de la herencia del dualismo (mente/cuerpo, espíritu/materia, vida/no vida), quizás no sorprenda que dos de los más profundos pensadores del siglo XX tengan visiones diametralmente opuestas al cartesianismo, aportando ambos una gran visión, un *sprit large*, de la íntima relación entre la Tierra y su vida. El científico ruso Vladimir Ivanovich Vernadsky (1863-1945) describía a los organismos de la misma manera que describía los minerales, llamándolos “materia viva”. En cambio, el científico inglés James E. Lovelock (nacido en 1920) ha tratado el problema de la superficie de la Tierra de tal manera que el conjunto de la biosfera, que comprende también las rocas y el aire, puede considerarse vivo. Vernadsky describió la materia viva como una fuerza geológica; en realidad, la mayor fuerza geológica. La vida se desplaza y transforma la materia a través de mares y continentes.

Siguiendo la tradición iniciada por Christian Gottfried Ehrenberg (1795-1876) y Alexander von Humboldt (1769-1859) y por otros serios exploradores, Vernadsky describió lo que Ehrenberg llamo la “omnipresencia de la vida”. Observó que la materia viva participaba en procesos “inanimados” de la superficie del planeta como la erosión, el fluir de las aguas y la circulación el viento. Mientras sus contemporáneos hablaban de los reinos animal, vegetal y mineral, Vernadsky analizaba los fenómenos de la Tierra sin etiquetarlos ni clasificarlos en ninguna de esas categorías. Evitó nociones preconcebidas sobre lo que está o no vivo. No percibía la vida como una entidad abstracta, con sus connotaciones religiosas, históricas y filosóficas; se refería sólo a la “materia viva”. Eso le permitía combinar tanto como fuese necesario la mineralogía, la geología y la biología en una nueva disciplina.

Impresionado por el desplazamiento de maquinaria en la Primera Guerra Mundial, lo que más le chocó fue que el material de la corteza terrestre estuviera empaquetado en una miríada de seres vivos con movimiento cuya reproducción y crecimiento dependían de la energía solar, mientras que ellos construyen y demuelen materia. Observa que la vida es un fenómeno planetario. Los humanos, por ejemplo, aceleran la tendencia de la vida a redistribuir y concentrar los elementos químicos de la Tierra. Según la visión de Vernadsky, la presencia humana representa otra fase de la evolución biogeoquímica (Lapo, 1987).

Vernadsky se distinguió de otros teóricos por su firme rechazo a construir una categoría especial para la vida. La vida distaba mucho de ser un tipo de materia con propiedades, sino más bien un proceso, algo que sucedía. En sus textos, los seres vivos pueden desplazarse y son curiosos desde el punto de vista químico, pero son formas predecibles del fluido común. El agua animada, la vida en toda su humedad, muestra un poder de desplazamiento que excede a la caliza, el silicato e incluso el aire. Da forma a la superficie de la Tierra. Destacando la continuidad de las rocas y la vida acuosa, como se pone de manifiesto en el carbón o en los arrecifes fósiles formados de caliza, Vernadsky desarrolló la idea, elaborada más tarde por Lapo (1987), de que estratos geológicos aparentemente inertes son “trazas de biosferas pasadas”.

Pero, incluso, un materialista como Vernadsky halló un lugar para la mente. Según su visión, una capa especial pensante de materia organizada, que crece y cambia la superficie de la Tierra, está asociada a los humanos y a la tecnología. Para describirla, Vernadsky adoptó el término noosfera, a partir de griego *nōos*, mente. Es un término que fue introducido por Edouard Le Roy, del Colegio de Francia. Vernadsky se encontró con Le Roy y con Pierre Teilhard de Chardin, el paleontólogo y jesuita francés, cuyos textos transmitirían más adelante la idea de noosfera (una capa consciente de vida) a una audiencia más amplia en debates intelectuales que se celebraron en París durante la década de 1920. El uso que Teilhard de Chardin y Vernadsky hicieron del término noosfera, así como en general sus puntos de vista,

eran diferentes. Para Teilhard, la noosfera era la capa “humana” planetaria que formaba la “biosfera exterior y por encima”, mientras que para Vernadsky la noosfera se refería a la humanidad y a la tecnología como una parte aceleradora, pero integral, de la biosfera planetaria (Grinevald, 1988; Sagan, 1990).

Muchos organismos demasiado pequeños para ser vistos sin ayuda de microscopio sienten el calor y lo evitan, se mueven hacia la luz o huyen de ella. Incluso algunas bacterias detectan campos magnéticos. Decir que las bacterias son sencillamente máquinas que carecen de sensación y conciencia no difiere mucho de la afirmación de Descartes de que los perros no sienten dolor. Incluso en el nivel más importante, los seres vivos parece que imponen una sensación, una elección, una mente.

Sensibilidad-movimiento-comunicación

Estamos de acuerdo en que la mente y el cuerpo no están separados, sino que forman parte de un conjunto funcional unificado. La vida, que se ha distinguido por su sensibilidad desde el principio, ha tenido siempre la capacidad del movimiento, de “sentir”, de “decidir”, de “escoger”. Este tipo de “pensamientos” vagos y claros al mismo tiempo son físicos. Se encuentran en las células de nuestro cuerpo y en las de otros animales.

Al captar estas frases, determinados garabatos de tinta activan unas asociaciones, las conexiones electroquímicas de las células cerebrales. La glucosa se modifica, gracias a una combustión en la que interviene el oxígeno; los productos de su desintegración, agua y dióxido de carbono, penetran en diminutos vasos sanguíneos. Los iones de sodio y de calcio, que son bombeados al exterior, circulan a través de las membranas neuronales. El pensamiento, como la vida, es un flujo de materia y energía; el cuerpo es su complemento. Pensar y ser son aspectos de una misma organización física y su acción.

Si se acepta la continuidad fundamental entre cuerpo y mente, el pensamiento es, en esencia, como el resto de la fisiología y el comportamiento. Pensar, como excretar y comer, es el resultado de enérgicas interacciones de la química del organismo. Incluso el “pensamiento” microbiano se debe al hambre, al movimiento, al crecimiento, a la asociación, la satisfacción y otras características intrínsecas a todo tipo de vida. Si lo que se denomina “pensamiento” ha sido causado por interacciones de ese tipo, quizás, la comunicación entre organismos, pensadores cada uno de ellos, pueda conducir a un proceso mayor que el pensamiento individual. Esto podría estar implícito en la noción de noosfera de Vernadsky.

Deberíamos desprendernos del legado de Descartes que aún nos rodea y sustituirlo por una comprensión más profunda de la conciencia elemental de la vida. Nos costará nuestra cultura recobrar los sentidos (Abram, 1996) y percatarnos de nuevo de que hemos de rechazar por completo el antropomorfismo cartesiano. Se trata de una visión incorrecta e ingenua desde el punto de vista de la biología. Estamos interconectados no sólo con otras personas, sino con todos los seres vivos de este planeta. La visión que se tiene es que las vías aéreas, las líneas telefónicas, Internet, las líneas marítimas y las máquinas de fax conectan sólo personas. En realidad, a través de nosotros y de los otros, conectan toda la vida. Los medios de comunicación, además de unir a las personas, unen también a nuestros compañeros en el planeta. Para los habitantes del ecosistema urbano las conexiones son evidentes, seamos o no conscientes de la presencia de los otros seres -cucarachas, gorriones, tomateras, palomas o ladillas-, ellos disfrutan con la expansión del hábitat a medida que “desarrollamos” la Tierra para más personas.

La propiocepción, la percepción del movimiento y la orientación espacial que surge a partir de estímulos del interior del cuerpo, es un concepto fisiológico. Aunque su nombre no es muy conocido, este fenómeno nos resulta a todos muy familiar. Nuestros propioceptores nos informan constantemente de que estamos de pie, inclinando la cabeza, entrecerrando los ojos o apretando los puños. Los

propioceptores no trabajan como sistemas sensoriales para la información de fuera, sobre otros o sobre el entorno, sino para la del interior del cuerpo. Los nervios unidos a los músculos se disparan cuando detectan movimientos como un cambio en la posición del cuerpo. Estos nervios de autocontrol nos dicen si estamos de pie o boca abajo, si estamos parados en el autobús o nos movemos a 50 kilómetros por hora. La Tierra ha disfrutado de un sistema propioceptor durante milenios, desde mucho antes de que los humanos evolucionaran. Los pequeños mamíferos se comunican entre sí el terremoto que se avecina o la cercanía de un chaparrón. Los árboles liberan “sustancias volátiles” que advierten a sus vecinos de que larvas de polillas podrían atacar sus hojas. La propiocepción, el sentirse a uno mismo, es probablemente tan vieja como el propio ser uno mismo. Nos gusta pensar que las personas aumentamos y continuamos acelerando la nueva capacidad propioceptora moderna de Gaia. Un incendio en la selva de Borneo y el accidente de un helicóptero norteamericano en los Alpes italianos son retransmitidos en el telediario de la ciudad de Nueva York. Aún así, las manadas de lobos o de dinosaurios extinguidos ya disfrutaban de su propia comunicación social propioceptora; ciertamente, el sistema nervioso global no comenzó con el origen de las personas. Gaia, la Tierra fisiológicamente regulada, disfrutaba de las comunicaciones propioceptoras globales mucho antes de que nosotros evolucionáramos. El aire hacía circular emisiones de gases y compuestos químicos solubles procedentes de los árboles tropicales, de los insectos listos para aparearse y de las bacterias amenazadas de muerte. Los compuestos amorosos han aromatizado las brisas primaverales desde el arcaico. Pero la velocidad de la propiocepción ha aumentado enormemente con la era electrónica.

Poseemos una comprensión intuitiva de la realidad a la cual hacen referencia los siguientes términos: percepción, percatación, especulación, pensamiento, memoria, conocimiento y conciencia. Es obvio que las bacterias perciben los azúcares y las algas perciben la luz. Los perros se percatan; cuando deciden si perseguir o no a un gato parecen estar “especulando”. Hay quien admite que el conocimiento puede estar presente en la ballena, el oso, el murciélago y en otros vertebrados como los pájaros. Empero, nuestra sabiduría tradicional nos dice que la conciencia está limitada a las personas y a nuestros antepasados inmediatos. Muchos científicos coinciden en afirmar que ninguna combinación de la neurofisiología, la neuroanatomía, la genética, la neurofarmacología o cualquier otra ciencia materialista podrá conocer nunca la “mente”, sea ésta la que sea. Opinan que la ciencia podrá conocer el cerebro pero no la mente. Discrepamos de muchas de las versiones de este mito común. Creemos que el cerebro es la mente y la mente es el cerebro.

Los resultados de las ciencias citadas, como los de muchas otras ciencias, pueden aportarnos información acerca de nosotros mismos y de lo que hay dentro de nuestra cabeza. Además, los humanos no tenemos el monopolio de los procesos mentales citados. Sin ir más lejos, en cuanto a la conciencia del *qué*, podría señalar la vida microscópica totalmente consciente que se comunica activamente en el agua de un estanque. Los procesos de percepción, percatación, especulación y otros similares se originaron en el microcosmos: el mundo subvisible de nuestros antepasados bacterianos. El propio movimiento es un rasgo bacteriano ancestral y el pensamiento, sugerimos que es un tipo de movimiento celular.

Admitimos que las computadoras tienen precedentes: la electricidad, los circuitos electrónicos, los semiconductores de silicio, las tuercas y los tornillos. El milagro de la computadora es la forma en que se acoplan sus partes. Del mismo modo, la mente humana tiene precedentes; su excepcionalidad se encuentra en la combinación e interacción de los elementos que conforman la mente-cerebro. No podemos conocer la mente-cerebro humana si no conocemos sus partes y cómo se unieron éstas. Pero el punto de arranque fundamental en la evolución del cerebro humano se encuentra en la danza de las bacterias: el intrincado mecanismo de motilidad celular. ¿Cómo se desplazan las células? La respuesta a este enigma aporta el primer rayo de luz a los orígenes de la mente-cerebro.

La percepción, el pensamiento, la especulación y la memoria son, por supuesto, procesos activos; conjeturamos que son manifestaciones a gran escala de la ecología comunitaria a pequeña escala de las antiguas espiroquetas, arqueobacterias y alfaproteobacterias (actualmente denominadas mitocondrias) que forman nuestro cerebro.

¿Qué es lo que hay que explicar? La especulación fundamental es que los procesos de la mente-cerebro son un reflejo de la reproducción, la nutrición, la fisiología, la sexualidad, la reproducción y la ecología de la comunidad de los microorganismos de los que estamos formados. Los microorganismos no son simplemente metáforas; sus restos habitan en nuestro cerebro sus necesidades y hábitos, sus historias y su salud, determinan en parte nuestro comportamiento. Si nos sentimos poseídos, con diversas mentes, si nos sentimos abrumados por la complejidad, es porque estamos habitados y constituidos por complejidades, por componentes vivos que empezaron siendo microbios de vida libre.

Queremos agradecer la colaboración de: Celeste A. Asikainen, Ricardo Guerrero, Azucena Klett, Juli Peretó, Mercé Piqueras, José Luis Rubio, Mónica Solé, Graduate School, University of Massachusetts.

Bibliografía de Lynn Margulis

Margulis, L. and Sagan, D. *Acquiring Genomes: A Theory of the Origins of Species*, Perseus. Basic Books, New York, 2002. (Margulis, L. y Sagan, D. *Captando genomas: Una teoría sobre el origen de las especies*, Kairós, Barcelona, 2003).

Margulis, L. *Una revolución en la evolución*, Colección Honoris Causa, Universitat de Valencia, 2002.

Margulis, L.; Haselton, A. and Matthews, C. *Environmental Evolution: Effects of the Origin and Evolution of Life on Planet Earth*, 2nd edition, MIT Press, 2000. (L. Margulis, L. y Olendzensky, L. *Evolución Ambiental: Efectos del origen y la evolución de la vida sobre el planeta Tierra*, Alianza Editorial, 1996).

Margulis, L. and Sagan, D. *What is life?*, Nevraumont Publishing; Simon and Schuster, 1999. (Margulis, L. y Sagan, D. *¿Qué es la vida?*, Tusquets Editores, col. Metatemas, Barcelona 1996).

Margulis, L. and Sagan, D. *What is sex?*, Nevraumont Publishing; Simon and Schuster Ed, 1998. (Margulis, L. y Sagan, D. *¿Qué es el sexo?*, Tusquets Editores, Barcelona 1998).

Margulis, L. *Symbiotic Planet: A New View of Evolution*, Basic Books, 1998. (Margulis, L. *Planeta simbiótico: un nuevo punto de vista sobre la evolución*, Debate, 2002).

Margulis, L. and Sagan, D. *Microcosms: Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors*, 2nd Ed. University of California Press, 1997. (Margulis, L. and Sagan, D. *Microcosmos: cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos*, 1^a edición Tusquets Editores, col Metatemas, n^o 39; Barcelona, 1995).

Margulis, L.; Lovelock, J.; Goodwin, B. et al. *Gaia in Action: Science of the Living Earth*, edited by Peter Bunyard, Floris Books, 1996.

Margulis, L. *Symbiosis in Cell Evolution: microbial Communities in the Archean and Proterozoic Eons*, 2nd edition W. H. Freeman and Company, New York, 1993.

Margulis, L.; Lovelock, J.; Bateson, G.; Atlan, H.; Varela, F.; Maturana, H. et al. *Gaia, a Way of Knowing: Political Implications of New Biology*, edited by W. I. Thompson, Lindisfarne Association, 1987. (Margulis, L.; Lovelock, J.; Bateson, G.; Atlan, H.; Varela, F.; Maturana, H. y cols. *Gaia: Implicaciones de la nueva biología*, 2^a Ed, Editorial Kairos, Barcelona, 1989).

Margulis, L. and Sagan, D. *Origins of Sex: Three Billion Years of Genetic Recombination*, Yale University Press, 1986.

Bibliografía general

Abram, D. *The Spell of the Sensuous*, Vintage Books, New York, 1996.

Fleck, L. *Genesis and Development of a Scientific Fact*, (translated into English by Fred Bradley and Thaddeus J. Trenn), edited by Thaddeus J. Trenn and Robert K. Merton, University of Chicago Press, Chicago, 1979.

Grinevald, J. "Sketch for a history of the idea of the biosphere", in *Bunyard and Goldsmith*, 1988, pp 1-34.

Lapo, A. *Traces of Bygone Biospheres*, Mir Publishers and Synergetic Press, Moscow 1987.

Lovelock, J.E. *The Ages of Gaia*. W.W. Norton and Company, New York, 1988. (Lovelock, J.E. *Las Edades de Gaia*. Tusquets Editores, col. Metatemas, nº 29, Barcelona, 1993; 2ª edición, enero de 1995. Traducción de Joan Grimalt).

Olañeta, J.J. de (ed.). *Nosotros somos parte de la Tierra: mensaje del gran jefe Seattle al presidente de los Estados Unidos de América en el año 1855*, Palma de Mallorca, 2004.

Sagan, D. *Biospheres: Metamorphosis of Planet Earth*. McGraw-Hill, 1990. (Sagan, D. *Biosferas: metamorfosis del planeta Tierra*, Alianza Editorial, Madrid, 1995).

Schneider, S.H. and Boston, P.J. (eds.). *Scientists on Gaia*, MIT Press, February 1992.

Schneider, S.H.; Miller, J.R.; Crist, E. and Boston P.J. (eds.). *Scientists debate Gaia: The next century*, MIT Press, Cambridge Mass., 2005.

Spencer, H. *Principles of Biology*, Williams & Norgate, London, 1898.

Trivers, R.L. "Parental investment and sexual selection", en B. Campbell (ed.), *Sexual selection and the descent of man, 1871-1971*, Aldine, Chicago, 1972, pp. 136-179.

Vernadsky, V.I. "The Biosphere and the Nöosphere", *American Science*, vol. 33, 1, 1945.

¹ La hipótesis Gaia, propuesta por James Lovelock, establece que los sedimentos de la superficie y la troposfera de nuestro planeta están regulados de manera activa por la biota (el conjunto de todos los organismos vivos). Se trata de un sistema cibernético con tendencias homeostáticas como las que se detectan en las anomalías químicas de la atmósfera terrestre.