

La enfermedad de Gaia

Luis Benítez Bribiesca

Si la Tierra puede ser vista como un organismo vivo, quizá los productos de la actividad humana la están alterando más allá de lo permisible. Una llamada de atención sobre las consecuencias del avance técnico descontrolado.

El eminente patólogo de la Universidad de Yale y gran investigador y científico Lewis Thomas, mejor conocido por sus excelentes ensayos sobre aspectos conceptuales y filosóficos sobre la ciencia biomédica, publicó un ensayo que intituló “La membrana más grande del mundo” en su libro *Las vidas de la célula* (1976). En este escrito nos revela su visión de la Tierra y el concepto de la membrana que la rodea en los términos siguientes: “vista desde la Luna, lo que más sorprende de la Tierra, y lo que corta la respiración, es que está viva. Las fotografías muestran la superficie de la Luna seca y molida, muerta como un viejo hueso calcinado. Arriba, flotando libremente dentro de una membrana húmeda y resplandeciente de brillante cielo azul se encuentra la Tierra naciente, la única cosa exuberante en esa parte del cosmos. Si pudieran verse con suficiente detalle, se verían los torbellinos de las grandes corrientes de nubes blancas, cubriendo y descubriendo grandes masas de tierra. Si se hubiese mirado durante mucho tiempo, a escala geológica, incluso se habrían visto los continentes en movimiento, deslizándose sobre sus placas tectónicas calentadas por el fuego de abajo. La Tierra tiene el aspecto organizado y autoestructurado de una criatura viva, llena de información y maravillosamente diestra para manejar la luz solar”. La membrana terráquea es un conjunto de gases que llamamos atmósfera y que cubre a todo el planeta.

Más adelante especula sobre el sentido de la membrana y su utilidad en los sistemas biológicos. La membrana es necesaria para atrapar energía y retenerla, al-



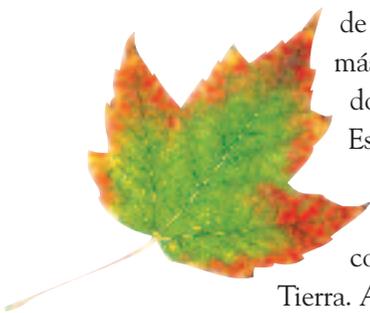
macenando la cantidad precisa y liberándola ordenadamente, a semejanza de la membrana celular que tiene una función similar. Para estar vivo es necesario oponerse al equilibrio, luchar contra la entropía y permitir el acceso regulado de nutrientes; para todo esto se requiere de una membrana semipermeable. Nuestra Tierra, también calificada como “el planeta azul” por Carl Sagan, posee una membrana que parece haber surgido paralelamente a la aparición de la vida. Originalmente no había nada que la protegiera de la radiación ultravioleta, excepto el agua misma. La primitiva y tenue atmósfera se formó como consecuencia de la expulsión de gases internos durante el enfriamiento de la Tierra y tuvo una composición

La idea de que la Tierra está viva probablemente es tan antigua como la humanidad. De hecho en la mitología griega se habla de la diosa Gea, que es precisamente la madre Tierra

completamente diferente a la actual. La formación de oxígeno tuvo que esperar hasta la emergencia de los organismos fotosintéticos, que requirieron entornos con suficiente luz visible para la fotosíntesis, pero al mismo tiempo con cierta protección contra las dosis letales de luz ultravioleta. Es por ello que las células verdes deben haberse reproducido debajo de la superficie del agua, a unos diez metros de profundidad. Esta nueva atmósfera, rica en oxígeno, pudo funcionar efectivamente como un

filtro de las bandas más letales de luz ultravioleta, que son las más agresivas contra los ácidos nucleicos y las proteínas. Es gracias a esa semipermeabilidad de nuestra membrana atmosférica que pudo continuar la vida sobre la

Tierra. Ahora, con la capa de ozono en la estratosfera, tenemos una capa protectora extra.



Esta visión de la Tierra como un gran cuerpo vivo flotando en el espacio es compartida por muchos desde que fue posible fotografiarla desde los vehículos espaciales. Contemplar las magníficas fotografías de nuestro planeta permite solidarizarse con la visión de Thomas y las descripciones de Sagan. Si las comparamos con las superficies rocosas, áridas o cubiertas de gases y nubes extrañas de otros planetas, las nuestras muestran una belleza inigualable y una estructura compleja que invita a la especulación sobre su origen y función.

La Tierra viviente

La idea de que la Tierra está viva probablemente es tan antigua como la humanidad. De hecho en la mitología griega se habla de la diosa Gea, que es precisamente la madre Tierra. Sin embargo, la primera expresión de este concepto como un hecho científico fue emitida por James Hutton, que afirmó que la Tierra era un superorganismo y como tal la disciplina más apropiada para estudiarla tendría que ser de tipo fisiológico, como ocurre con otros seres vivos. Para apoyar su punto de vista comparó los ciclos de los elementos nutrientes en el suelo y el movimiento del agua de los océanos hacia la tierra con la circulación de la sangre. Desafortunadamente su propuesta encontró un profundo rechazo en el ámbito científico y quedó en el olvido.

Otros investigadores como Korolenko y Vernadsky hicieron afirmaciones semejantes respecto a la posibilidad de interpretar a la Tierra como un organismo vivo. Pero desde 1911 se consagró el término de *biosfera* para definir a la capa terrestre donde se encuentran innumerables formas de vida que cubren a toda la Tierra. Vernadsky decía que se puede contemplar a la biosfera como el área de la superficie terrestre ocupada por organismos transformadores que convierten las radiaciones cósmicas en energía terrestre efectiva: eléctrica, química, mecánica, térmica, etcétera (Margulis y Sagan, 1995).

Hasta hace poco se pensaba que el espesor de la biosfera se limitaba a unos cientos de metros bajo la superficie de los océanos y unos kilómetros arriba, en los picos de las cordilleras. Ahora se sabe que hay vida en los sitios más insospechados, como las termas submarinas en las grandes profundidades del océano que alcanzan temperaturas arriba de los 200°C. Aun más, se han descubierto formas de vida bacteriana conocidas como extremófilas en los sitios más inhóspitos de la Tierra.



La hipótesis de Gaia

A pesar de que diversos autores han intentado estructurar el concepto de una Tierra viviente o de un súper-organismo vivo, debe señalarse que quien mejor ha estructurado una hipótesis congruente y científicamente cimentada respecto a la idea de que nuestra Tierra puede concebirse como un planeta vivo es James Lovelock.

No se trata de un aficionado o iluminado que propone una hipótesis esotérica, como algunos han pensado. Lovelock es un científico de pura cepa que ha incursionado en numerosos campos de la química, la electrónica y los sistemas complejos, y ha sido investigador y diseñador de instrumentos finos de medición. También fue asesor de la NASA para diseñar sistemas que pudieran identificar vida en otros planetas, y ahí empezó a desarrollar su hipótesis, basándose en estudios que comparaban la composición de las atmósferas de otros planetas con la del nuestro. Propuso que es en las atmósferas donde puede encontrarse el rastro más preciso de vida, más aun que en la superficie de esos cuerpos celestes, argumentando que es precisamen-

te ahí donde los seres vivos vierten sus productos de desecho. La mejor demostración de ello es la gran diferencia que existe en el contenido de oxígeno y de dióxido de carbono en planetas sin vida como Venus y Marte comparados con la Tierra. Mientras en los otros planetas las concentraciones de oxígeno son mínimas, en el nuestro hay 21 por ciento, y a la inversa, las concentraciones de dióxido de carbono en los planetas carentes de vida se encuentra alrededor de 95 por ciento, mientras que en la Tierra con vida apenas alcanza el 0.03 por ciento. Es evidente que estas profundas diferencias se deben a la existencia de la vida que genera oxígeno y consume dióxido de carbono.

Después de una serie de estudios, mediciones y observaciones de la interacción entre la materia viva y la inanimada —difíciles de

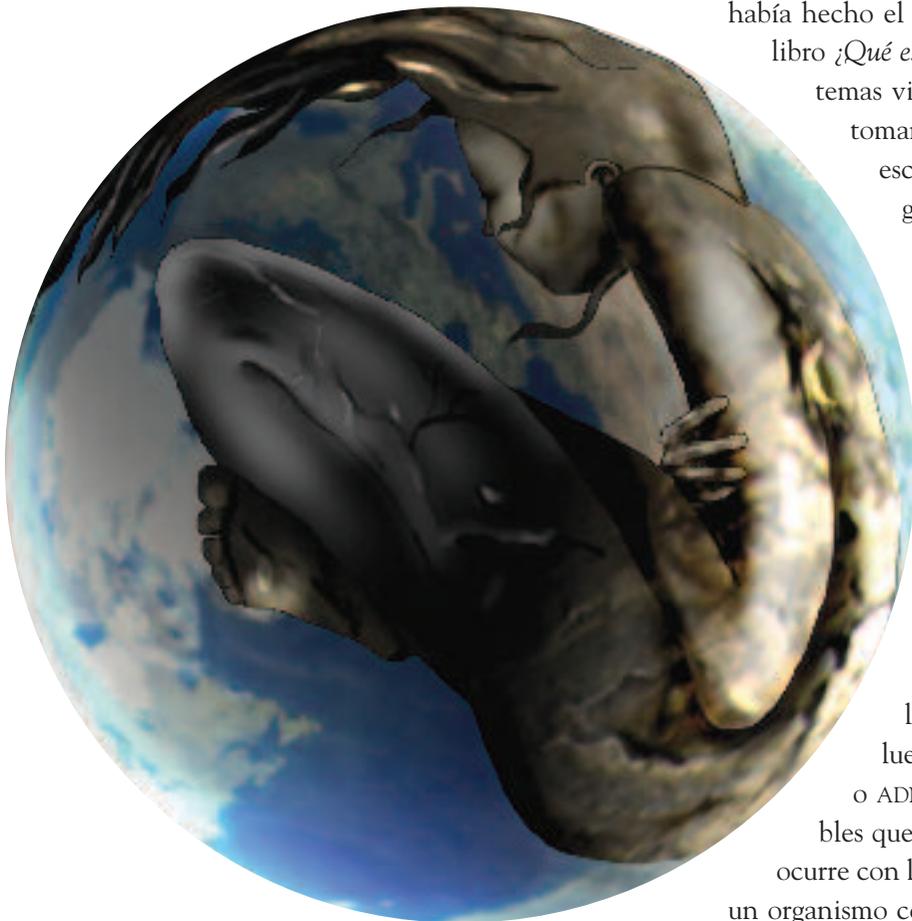
explicar en este breve texto—, Lovelock propuso la revolucionaria hipótesis de Gaia, donde supone que la atmósfera, los océanos, el clima y la corteza de la Tierra se encuentran ajustados en un estado adecuado para la vida, como consecuencia del comportamiento de los mismos organismos vivos (Lovelock, 1995). Concretamente, la hipótesis de Gaia dice que la temperatura, el estado de oxidación, la acidez y algunos aspectos de las rocas y las aguas se mantienen básicamente constantes en cualquier época, y que esta homeostasis se obtiene por procesos cibernéticos llevados a cabo de manera automática e inconsciente por la biota o conjunto de elementos vivos. La energía solar sustenta estas condiciones favorables para la vida, pero éstas son sólo constantes a corto plazo, y evolucionan en sincronía con los cambios requeridos por la biota a lo largo

de su evolución. La vida y su entorno están tan íntimamente asociados que la evolución afecta a Gaia en su totalidad, no a los organismos o al medio ambiente por separado. Tal parece que los organismos vivos son los elementos reguladores u homeostáticos que mantienen las condiciones geofísicas adecuadas para la vida misma.

A través de esta propuesta se entiende a la Tierra y a la vida como un sistema, que tiene la capacidad de regular la temperatura y la composición de la superficie de la Tierra y de los océanos, y de mantenerla idónea para los organismos vivos. La autorregulación del sistema es un proceso activo impulsado por la energía libre proporcionada por el Sol.

Huelga decir que una propuesta de esta magnitud fue tomada por el mundo científico con una gran reserva, puesto que más parecía una metáfora imaginativa que algo que pudiera ser comprobado experimentalmente. Sin embargo, en el curso de los años se han ido agregando datos y estudios geoquímicos, geobiológicos, oceanográficos, etcétera, que parecen dar sustento a la veracidad de este enfoque de la Tierra como un organismo viviente y autorregulado. De hecho, en su libro *Las edades de Gaia* (1995), Lovelock recurre a las propuestas que ya había hecho el físico Erwin Schrödinger en su bien conocido libro *¿Qué es la Vida?*, referentes al concepto de que los sistemas vivos son sistemas abiertos en el sentido de que

toman y excretan energía y materia, y en esta forma escapan a la segunda ley de la termodinámica, generando “entropía negativa” (Margulis y Sagan, 1995; Lovelock, 1995). En teoría son tan abiertos como los límites del universo. Sin embargo, también están encerrados en una jerarquía de límites internos. Cuando vemos a la Tierra desde el espacio lo primero que se aprecia es el límite atmosférico que engloba a Gaia, tal como lo describiera magistralmente Thomas. Con mayor acercamiento se pueden distinguir los límites de los ecosistemas como los bosques o los mares, y más adelante, con amplificación creciente, podrá apreciarse la piel o cubiertas de los animales vivos, las membranas celulares y luego los núcleos y su ácido desoxirribonucleico o ADN. Es un conjunto de membranas semipermeables que crean subsistemas interrelacionados, tal como ocurre con los miles de millones de células que constituyen un organismo como el nuestro. Por ello, si la vida es en parte



un sistema auto-organizado que mantiene activamente una entropía baja, con acceso regulado de energía y expulsión de desechos y calor por medio de una membrana selectiva, la Tierra parece poseer esa característica. Es evidente que el globo terráqueo cumple al menos con este requisito de “negentropía” para ser considerado como viviente (Margulis y Sagan, 1995; Barlow, 1992).

El concepto de que algo tan grande y aparentemente inanimado como la Tierra está vivo puede resultar difícil de admitir. En verdad, la Tierra es casi roca pura y en gran parte es incandescente debido a su calor interno. Pero también existen organismos vivientes que en su mayor parte están muertos, como ocurre con las secuoyas, árboles gigantes cuya enorme estructura está formada en 99 por ciento por madera muerta hecha de lignina y celulosa. Pero a pesar de que el globo terráqueo comparte muchas características con los otros sistemas vivientes, es claro que hay otras características claramente diferentes. Quizás por ello la hipótesis de Lovelock ha encontrado fuertes resistencias para ser aceptada por la comunidad científica. De cualquier manera todos concuerdan que esta nueva visión ha fomentado el surgimiento de nuevas disciplinas para estudiar desde los ecosistemas más simples hasta las variaciones del clima. El mejor ejemplo es que la relación entre el plancton y el clima fue promovida precisamente por la hipótesis de Gaia (Barlow, 1992).

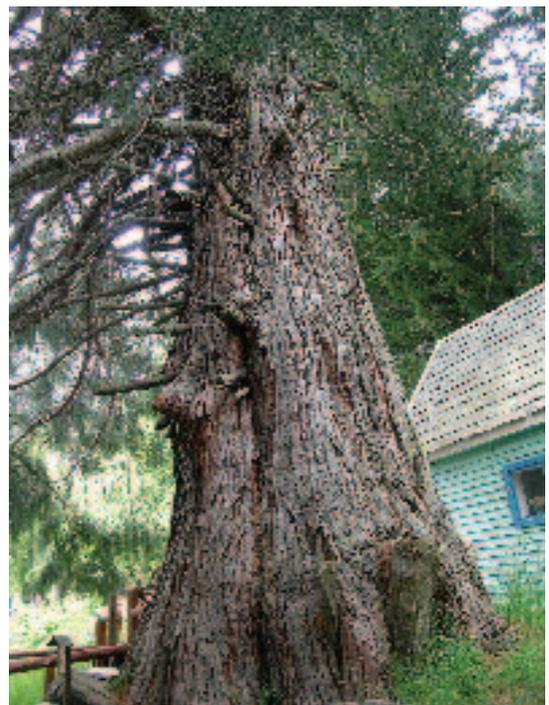
Las críticas

Un buen número de científicos, particularmente reduccionistas, han criticado sistemáticamente la propuesta de Lovelock, y sus argumentos fundamentales se han centrado alrededor de lo que se considera un tono teleológico de esta hipótesis y la aparente divergencia del dogma biológico fundamental sobre la evolución darwiniana (Kirchner, 2002). Con el objeto de probar que esta hipótesis es congruente con el dogma evolutivo, Watson y Lovelock introdujeron un modelo computacional simplificado de evolución que denominaron “El mundo de las margaritas”, en el cual se demuestra cómo dos especies de esas flores pueden regular la temperatura global del planeta a través de la competencia entre esas especies contra el incremento de la luminosidad solar que ocurre con el tiempo (Sugimoto, 2002). Con este modelo parecía demostrarse cómo la selección natural de una especie hipotética de plantas podría

regular el clima en diversas condiciones, situando a la hipótesis de Gaia en concordancia con el sistema evolutivo y eliminando el contexto teleológico que se le atribuye.

Existen organismos vivientes que en su mayor parte están muertos, como ocurre con las secuoyas, árboles gigantes cuya enorme estructura está formada en 99 por ciento por madera muerta hecha de lignina y celulosa

Los sistemas cibernéticos y de retroalimentación propuestos por la hipótesis de Gaia han sido puestos en duda por numerosos autores, arguyendo que esos sistemas de retroalimentación biológica que supuestamente contribuyen a mantener la homeostasis ambiental, en realidad no funcionan como lo predice la teoría. Se dice que muchos mecanismos biológicos que afectan el clima global son en verdad desestabilizadores, y que el efecto neto de estos circuitos retroalimentadores sería más bien de amplificación del calentamiento global (Kirchner, 2003).



Estado actual

De cualquier manera, y pese a las fuertes y bien fundamentadas críticas científicas, el concepto de Gaia sigue siendo utilizado y reforzado con nuevas investigaciones. Es cierto que el problema central que considera a la Tierra como un organismo autorregulado y vivo no puede probarse científicamente, pero provee una metáfora muy útil para tener una visión holística de la Tierra y fomentar los estudios interdisciplinarios para entender la interrelación entre los elementos vivos de la biosfera y sus partes inanimadas, incluyendo aspectos climáticos y de contaminación ambiental. De hecho, un buen número de ecólogos y de disciplinas afines han adoptado este enfoque para guiar sus investigaciones. Un buen número de investigadores prominentes como Lynn Margulis, Carl Sagan y Lewis Thomas la han aceptado como un hecho.

La enfermedad de Gaia

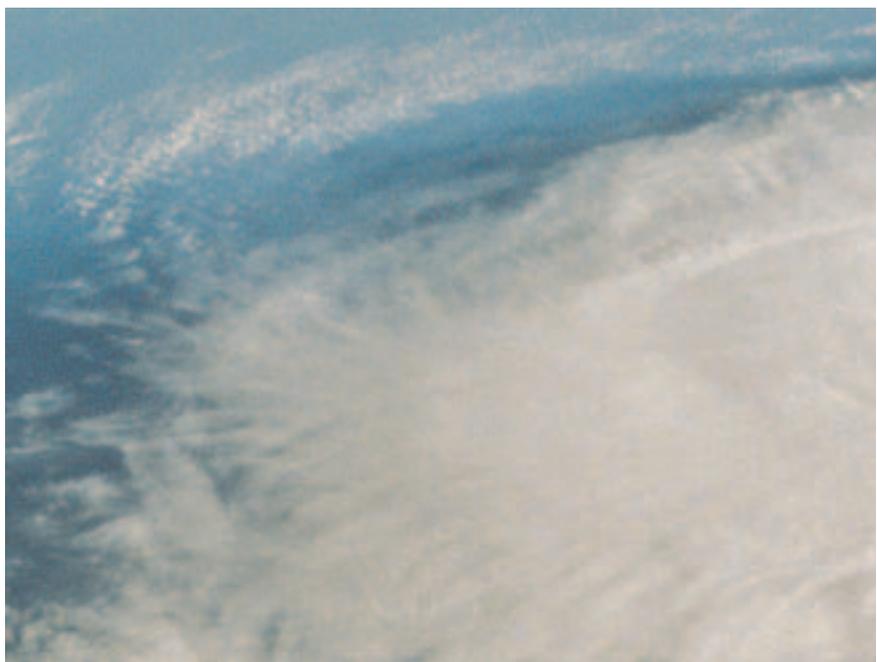
Siguiendo con la visión hipotética de que nuestro mundo es un organismo perfectamente autorregulado con mecanismos homeostáticos altamente eficientes, y recordando la propuesta de James Hutton, sería posible imaginar que el estudio de ese superorganismo debería recaer en un “geofisiólogo” (Volk, 2003). El paralelismo con un organismo viviente complejo como el nuestro es evidente, ya que todos tenemos estos mecanismos homeostáticos y sistemas autorreguladores que nos permiten mantener constante lo que Claude Bernard llamaba “el medio interno”, condición fundamental para mantener la vida. Pero podríamos ir más allá y recordar que la enfermedad humana es, en términos generales, una pérdida de ese equilibrio homeostático debido a la alteración de nuestros sistemas de control y autorregulación como consecuencia, generalmente, de algún agresor externo. En la misma forma se podría concebir al superorganismo Tierra como susceptible

de enfermarse en forma similar a como ocurre en el cuerpo humano.

Sabemos que las alteraciones de la enfermedad se manifiestan por signos evidentes y medibles, como fiebre, desequilibrios circulatorios, alteraciones hídricas y electrolíticas y muchas veces el agotamiento de los sistemas internos de regulación homeostática. ¿Será posible que la Tierra tenga síntomas de enfermedad?

El más evidente es la fiebre global que padece nuestra Tierra desde hace algún tiempo, y que se puede medir con el calentamiento progresivo de nuestro entorno. Desde hace ya varios años se ha demostrado que el clima está sufriendo un incremento térmico progresivo debido a la acumulación de contaminantes gaseosos que producen el llamado “efecto invernadero”. Numerosos estudios parecen demostrar que esta enorme contaminación es producto de la revolución industrial desenfrenada en el último siglo. Como en el humano, la fiebre es sólo un signo de un mal subyacente y más serio. En el caso de la Tierra, sabemos que la fiebre de que es presa presagia profundas alteraciones en el equilibrio de la biosfera. Por una parte se ha demostrado claramente cómo los casquetes polares comienzan a derretirse; los glaciares de las montañas también están afectados; las corrientes oceánicas están cambiando y existe un notable aumento de huracanes en diferentes zonas del océano. Se prevé que, de continuar esta tendencia, podría cambiar el clima en muchas regiones, afectándose las selvas, las zonas sub-tropicales y las estepas.

La alteración de nuestro equilibrio hídrico es cada vez más evidente, ya que la disponibilidad de agua potable se reduce continuamente y ya encontramos áreas geográficas en las cuales no existe agua fresca disponible. Comienza a generarse un



panorama amenazante al desencadenarse ya episodios esporádicos de la prevista “guerra del agua” (Gleik, 2006).

El intercambio respiratorio de este gigantesco organismo, cuyo equilibrio se debe a la generación de oxígeno por las grandes selvas tropicales, está también amenazado por la progresiva disminución de estos conjuntos selváticos en el último siglo, además de la acumulación evidente de dióxido de carbono y otros contaminantes. A esto debe de agregarse la ruptura localizada de la gran membrana que rodea nuestra Tierra, en la capa de ozono. Es claro que existen aberturas en esa capa protectora que ahora permiten el paso irrestricto de radiaciones ultravioleta de espectro peligroso. Esto pone en peligro la integridad del ADN principalmente, pero no exclusivamente, de las personas expuestas en esas latitudes.

Los trastornos circulatorios, tan frecuentes en el humano de edad avanzada, parecen estar iniciando también en la Tierra. Los ríos en general han disminuido su cauce y se encuentran altamente contaminados. Las corrientes oceánicas están sufriendo cambios evidentes, lo que contribuye a la formación de más huracanes y a cambios climáticos no previstos. Como consecuencia de todo esto la renovación de los ciclos del agua se encuentra ya alterada.

La alteración de las grandes masas de elementos vivos en los mares, como el plancton,



el *krill* y otros, han contribuido en gran medida a cambiar el clima y el equilibrio de las especies marinas.

La visión individual de cada una de estas alteraciones, comprobada por mediciones y observaciones científicas precisas, no da una idea clara del problema conjunto. Pero al observarlas bajo la óptica de la hipótesis de Gaia se puede diagnosticar que nuestra Tierra está efectivamente enferma, y que requiere de medidas drásticas y urgentes para detener su deterioro.

Resulta evidente que la interrelación e interdependencia de los subsistemas de la biosfera reclama una visión de conjunto y constituye un sistema complejo que bien puede llamarse Gaia, sea o no un superorganismo viviente autorregulado. Finalmente, ante la perspectiva de que Gaia sufra una gran enfermedad se requerirá no sólo de un “geofisiólogo” sino de un “geopatólogo” para el diagnóstico correcto que lleve a la implantación de medidas correctivas urgentes.



Bibliografía

- Barlow C. (1992), *From Gaia to selfish genes*, Cambridge, MIT Press.
- Gleick, P. H. (2006), “Making every drop count”, *Scientific American*, Supp. “The water of life”, 7–11.
- Kirchner J. W. (2002), The Gaia hypothesis: fact, theory, and wishful thinking, *Climatic Change* 52: 391–408.
- Kirchner J. W. (2003), “The Gaia hypothesis: conjectures and refutations”, *Climatic Change*. 58:21–45.
- Lovelock J. (1995), *Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo*, Barcelona, Tusquets, 2a. edición.
- Margulis L, y D. Sagan (1995), *¿Qué es la vida?*, Barcelona, Tusquets.
- Sugimoto T. (2002), “Darwinian Evolution does not rule out the Gaia Hypothesis”, *J Theor Biol*. 218:447–455.
- Thomas L. (1976), *Las vidas de la célula*, Buenos Aires, Emecé (*The lives of a cell*, Penguin, The Viking Press, 1974).
- Volk, Tyler (2003), *Gaia's body. Toward a physiology of earth*, Cambridge, Mass., MIT Press.

Luis Benítez Bribiesca es investigador titular de la Unidad de Investigación Médica en Enfermedades Oncológicas del Hospital de Oncología del Centro Médico Nacional Siglo XXI, del Instituto Mexicano del Seguro Social. Es médico cirujano graduado de la Escuela Médico Militar, con estudios de posgrado en patología general y experimental en el Instituto Mallory de Patología, en Boston, Massachusetts, y en la Universidad de Bonn, Alemania. Es editor de la revista *Archives of Medical Research*, editor emérito de la *Gaceta Médica de México*, así como fundador y editor emérito de la revista *Patología*. Su principal línea de investigación es la patología y biología molecular del cáncer. Es miembro del Sistema Nacional de Investigadores. luisbenbri@mexis.com