

## ¿ES GAIA UNA TEORÍA ADELANTADA A SU TIEMPO O UNA BROMA VITALISTA? REFLEXIONES PARA C.T.M.A.<sup>1</sup>

*Is Gaia a theory before its time, or a vitalist joke? A curricular discussion*

Francisco Anguita (\*) y Juan Luis Arsuaga (\*\*)

### RESUMEN

*El concepto de Gaia se ha difundido muy rápidamente en el sistema educativo preuniversitario, en ocasiones de forma acritica. Para hacer posible una discusión fundamentada de los méritos y lagunas de esta teoría se exponen sus puntos fuertes y débiles. Tras localizar alguna de las raíces históricas de esta idea, la discusión se centra en (a) la tradición vitalista, (b) la Paradoja de] Sol Primordial Débil, (c) la evolución M clima, con una hidrosfera líquida permanente, también en épocas de glaciaciones globales, (d) la evolución de la biosfera, caracterizada por extinciones masivas seguidas de rápidas recuperaciones, (e) la evolución química de la atmósfera hasta su composición actual, (f) los cambios en la sedimentación química, (g) el óptimo térmico terrestre en comparación con los planetas vecinos, y (h) la posible interacción entre biosfera y litosfera, o sea entre Vida y Tectónica de placas. Por último, se examinan algunas posibles comprobaciones de la idea, y sus aspectos filosóficos.*

### ABSTRACT

*The Gaia concept has quickly established itself in the pre-college system, without any kind of pre-assessment. To make possible an informed discussion of the pros and cons of this theory, its strong and weak points are presented. Some historical roots of Gaia are traced, and then the following topics are discussed: (a) the vitalist tradition, (b) the Young Faint Sun Paradox, (c) the evolution of climate, with a constantly liquid hydrosphere but also occasional global ice sheets, (d) the evolution of the biosphere, featuring mass extinctions followed by quick recovering of diversity, (e) the chemical evolution of the atmosphere, (f) the changes in chemical sedimentation, (g) the Earth thermal optimum as compared with its planetary neighbours, and (h) the Gaia-postulated loop between Life and Plate tectonics. Finally, we discuss some possible proofs for Gaia, and its philosophical traits.*

**Palabras clave:** Gaia, Evolución planetaria.

**Keywords:** Gaia, Planetary evolution.

### INTRODUCCIÓN

En 1974, James Lovelock y Lynn Margulis entraron en la historia de la Ciencia con un artículo titulado “La homeostasis atmosférica por y para la biosfera: la hipótesis Gaia”, en el que definían su nuevo concepto como “una entidad compleja que comprende la biosfera, la atmósfera, los océanos y el suelo de la Tierra; que constituye un sistema autorregulador o cibernético, y que persigue un ambiente físico y químico óptimo para la vida en el planeta.” La idea era simple y elegante: sabemos que los sistemas que están por debajo del nivel del individuo son partes de un todo, es decir, son a su vez elementos de un sistema superior organizado. ¿Por qué, entonces, no suponer que los individuos son partes de un sistema del mismo tipo que un organismo, aunque de nivel más alto? Ese sistema in-

tegrador de todo lo viviente y al mismo tiempo del medio físico que lo rodea sería un “superorganismo”, que Lovelock, a sugerencia del novelista William Golding, llamó Gaia, el nombre griego de la diosa madre Tierra.

Se ha dicho que Lovelock y Margulis estaban influidos, como tantos a principios de los 70, por la visión del *refugio Tierra* proporcionada por los astronautas del programa Apolo. Sea como fuere, su idea tuvo una repercusión popular arrolladora: los libros de Lovelock se convirtieron en éxitos de ventas. A continuación sucedieron dos cosas: una, que el naciente movimiento New Age intentó apropiarse de Gaia (a la que dotó de algunas de las características de los cultos místicos); y otra, que los científicos empezaron a reaccionar ante la teoría, que al plantear explicaciones conjuntas para temas de las

(\*) Depto. de Petrología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

E-mail: anguita@eucmax.sim.ucm.es

(\*\*) Depto. de Paleontología, Facultad de Ciencias Geológicas, Universidad Complutense, 28040 Madrid.

E-mail: azara@eucmax.sim.ucm.es

(1) “Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente” es una asignatura del Bachillerato de Ciencias en España

Ciencias de la Vida y las Ciencias de la Tierra, rompía con la tradición académica de investigación especializada. Pocos biólogos y geólogos se sintieron cómodos con su previsible denominación futura de geobiólogos o biogeólogos. Los geólogos, sobre todo, reaccionaron con hostilidad ante la idea, que parecía relegar a casi todo el planeta a la categoría de comparsa de la biosfera; sobre todo cuando, en una obra posterior, Lovelock llegaba a afirmar que hasta la tectónica de placas, la magna opera de la Geología del siglo XX, no era más que un subproducto de la actividad biológica.

Pronto surgieron las preguntas: ¿Qué significaba exactamente la autorregulación de Gaia? ¿Significaba mecanismos de retroalimentación capaces de producir y eliminar del medio lo que faltase o sobrase? ¿Mejoraba Gaia a largo plazo las condiciones para la vida? El concepto fue inmediatamente acusado de teleológico, y el propio Lovelock adoptó una posición defensiva, en la que ya no defendía que la biosfera condujese siempre el sistema Tierra “de acuerdo a sus intereses” (versión dura de Gaia), sino que se limitaba a proponer que la Vida y la Tierra formaban un sistema único en coevolución, con condiciones reguladas hasta un cierto punto por la primera (versión blanda de Gaia). Mientras que en general esta última versión fue aceptada, la polémica continuó sobre la versión dura, a la que se acusó de ser tan indemostrable como irrefutable: por ejemplo, hablar de un ambiente “óptimo” tiene poco sentido a no ser que el óptimo se defina con precisión; pero, ¿acaso hay un óptimo común para los pingüinos y las bacterias termófilas? O, si el óptimo significa un máximo de biomasa, ¿cómo sabemos si, p. ej., la biomasa actual representa un máximo?

Actualmente el debate sigue vivo, pero lo cierto es que la idea ha prendido, no sólo en el ámbito de la Ciencia popular, sino también en el sistema educativo: por ejemplo, son muchos los textos de Ciencias Naturales para Secundaria que incorporan la teoría Gaia, incluso en el título, aunque no siempre tratan el tema de forma muy rigurosa. Por ello nos ha parecido que una discusión que resumiese los méritos e inconvenientes de Gaia podría resultar útil, sobre todo porque el concepto representa un excelente tema de debate sobre la forma en que surge y evoluciona una teoría científica.<sup>2</sup>

## UN POCO DE HISTORIA

Gaia debe mucho a un científico ruso poco conocido, Viadimir Vernadsky (1863-1945). Él fue quien acuñó el término Biosfera<sup>3</sup> y por primera vez concibió la totalidad de la vida como una unidad que forma una fina película en el exterior del planeta Tierra, aunque se condense en seres individuales

físicamente separados, que era lo que hasta ese momento se había observado: los árboles no dejaban ver el bosque. Por su parte, el paleontólogo y jesuita francés Pierre Teilhard de Chardin ideó una atrevida metáfora, hoy pasada de moda pero que arrasó a mediados del siglo XX, la noosfera, la envuelta pensante del planeta.<sup>4</sup>

Lo curioso es que los dos científicos que soñaban con elaborar una gran síntesis coincidieran en el tiempo y en el espacio (en París, en 1925 [Cuénot, 1967]). De su relación no salió Gaia, pero ahora, tres cuartos de siglo después, podemos pensar que, al superponer las dos esferas, tendríamos una Biosfera con Noosfera: ¡una Gaia consciente, o sea en su *versión dura!* En cierto modo ésa podría considerarse también la conclusión principal de la obra de Teilhard de Chardin: su mística queda muy cercana de la que late en el fondo de la idea de Gaia. Cuando Lovelock escribe: “Gaia es para los que gustan de andar, o simplemente estar quietos y mirar, preguntándose sobre la Tierra y la vida que transporta, y especular sobre las consecuencias de nuestra presencia aquí.”, está de alguna forma reclamando sus raíces históricas, surgidas de la mística de Vernadsky y de Teilhard de Chardin.

## LO QUE GAIA EXPLICA...

a) El concepto de Gaia entronca con una larguísima tradición unitaria (holista, en términos modernos) que considera a la Tierra y a la Vida como partes de un todo interconectado y, de alguna forma imprecisa, vivo. Estas raíces vitalistas y organicistas son neoplatónicas, pero afloran de nuevo con fuerza en la Revolución Científica: por ejemplo, en Newton “...la Tierra es un gran animal que respira éter para su renovación y fermento vital (e. 1675), y desde luego (bajo el apelativo de *geofisiología*) en la “Teoría de la Tierra” de Hutton (1795).

b) Es una buena solución para la Paradoja del Sol Primordial Débil: ¿Por qué la Tierra no se congeló en el Arcaico, cuando el Sol le enviaba un 25 o 30 % menos de energía que hoy? Respuesta: Porque Gaia había tomado ya el control de la nave. Una aparente comprobación es que el incremento de la radiación solar debería haber provocado una elevación de 18°C en la temperatura media del planeta, que sin embargo es ahora de sólo 150C.

e) Es una explicación coherente (aunque no necesaria) a la evolución climática de la Tierra: parte de la hidrosfera se ha mantenido líquida de forma continua durante 4.000 millones de años. En cuanto a las glaciaciones, serían excepciones sólo parciales a esta homeostasis térmica, atestiguada por la rápida reaparición de climas templados incluso tras los periodos fríos más brutales, como son los del Prote-

(2) Utilizamos a propósito para Gaia el término “teoría” a pesar de que Lovelock y Margulis la denominaron “hipótesis”, ya que se trata de una proposición de gran envergadura que abarca un gran número de proposiciones de rango menor.

(3) La Biosfera es más bien Ecosfera, un concepto más amplio que incluye la totalidad de la vida del planeta (la biota) más partes de las otras esferas con las que es notorio que los organismos intercambian materiales.

(4) Una esfera que, por cierto, va camino de hacerse realidad con La Red: millones de cerebros conectados y trabajando juntos y conscientemente.

rozoico terminal. Por otra parte, la glaciación más importante del Fanerozoico (la carbonífero-pérmica) habría coincidido con la extensión de las plantas vasculares sobre los continentes. Esto explicaría el espectacular descenso del CO<sub>2</sub> atmosférico entre los 450 y los 300 Ma, ya que en los bosques la meteorización (que consume CO<sub>2</sub>) se acelera debido a los efectos disgregadores de las raíces y la creación en los suelos de microclimas ricos en CO<sub>2</sub>.

d) Explica igualmente la recuperación (casi inmediata, en términos de tiempo geológico) de la biosfera tras las extinciones masivas.

e) Da cuenta también de la evolución de la atmósfera: p. ej., su porcentaje de oxígeno es adecuado para el metabolismo de los eucariontes, pero justo por debajo del que representaría un riesgo excesivo de incendios. Al cambiar a oxidante el carácter químico de la atmósfera, las cianobacterias condenaron a parte de la Biosfera, pero el resultado ha sido positivo para el conjunto.

f) Explica la evolución de la sedimentación química: en el Proterozoico, sílice y carbonatos precipitaban como costras inorgánicas en el océano, lo que suponía una amenaza para los organismos oceánicos. Gaia habría producido seres de esqueleto silíceo y calcáreo para que absorbiesen estos solutos o inhibieran su precipitación inorgánica. Hoy, tanto la sílice como los carbonatos están bajo estricto control biológico. Desde Gaia se toman estos ejemplos como ilustraciones de la idea de que la biosfera ejerce un control progresivamente mayor sobre el resto del sistema.

g) Resuelve la llamada Paradoja de Ricitos de Oro (en español, del cuento de Los Tres Ositos): la Tierra no es demasiado caliente, como Venus, ni demasiado fría, como Marte, porque su biosfera ha funcionado como un eficaz termostato.

h) A su vez, la explicación anterior sería la base del reciclaje litosférico. En un planeta demasiado caliente (como Venus) el basalto no se metamorfiza a eclogita, sino a granulita, que es menos densa, lo cual impide la subducción (Anderson, 1984); de esta forma, al refrigerar un planeta (precipitando caliza, con lo que se elimina CO<sub>2</sub> atmosférico), la Vida está posibilitando la movilidad de sus continentes, un proceso que a su vez es un reconocido motor de la evolución de la propia biosfera (Fyfe, 1990). El que las dos grandes teorías globales sobre la Tierra estén conectadas explicaría una de las decepciones de los geólogos planetarios, cuando comprobaron que no había en el Sistema Solar otro planeta que reciclase su litosfera: los continentes sólo se moverían en los planetas con biosfera.

## Y LAS ALTERNATIVAS

a) Vitalismo y organicismo son ideas intuitivas sobre la Tierra que surgieron en una época precientífica. Una teoría organicista sobre la Tierra no sólo no tendría ningún mérito añadido, sino que cargaría con la sospecha de heredar una tradición errónea.

b) La Tierra primitiva podría haber escapado de una glaciación planetaria primordial mediante una densa atmósfera de CO<sub>2</sub>.

e) Precisamente la anterior fórmula fue, al parecer, la empleada por la Tierra para salir, hace 600 Ma, de la glaciación más intensa que ha experimentado. Esta glaciación, que parece haber cubierto de hielo todo el planeta, parecería descartar que exista un termostato fiable; en todo caso, según las hipótesis actuales, se produjo por causas no biológicas. Por otra parte, el efecto invernadero podría explicarse como un sistema autoregurable de tipo geoquímico, y no biogénico: la alteración de silicatos de calcio liberaría este elemento que, al precipitarse como CaCO<sub>3</sub>, secuestraría CO<sub>2</sub> atmosférico. Ahora bien, una elevación de temperatura aumentaría la intensidad de la alteración, con lo que se consume más CO<sub>2</sub>, y se enfría la atmósfera: he aquí un termostato que no necesita una biosfera (aunque, para Gaia, la biosfera potencia enormemente este termostato abiogénico).

En cuanto a la explicación gaiana de la glaciación permo-carbonífera, algo queda sin respuesta: ¿Acaso no sigue habiendo bosques tras el Pérmico? Además, ¿cuál es la causa de la glaciación actual?

d) Gaia parece incapaz de controlar (mucho menos aún de prever) las extinciones masivas, ya sean éstas originadas por procesos terrestres (como erupciones volcánicas cataclísmicas) o extraterrestres (colisiones asteroidales). En cuanto a muchas posibles homeostasis, éstas se producen en periodos tan largos que no es fácil juzgar su realidad. Igual sucede con la noción de mejora en la “calidad de vida”. Los paleontólogos aún discuten si ha habido una tendencia de fondo (aunque sea con altibajos) al aumento de la cantidad y diversidad de la vida desde el Cámbrico.

e) No se discute que la atmósfera actual es la adecuada para la vida actual; pero se subraya que los organismos fotosintéticos condenaron a la biosfera anterior, anaerobia, a ocupar hábitats residuales, un comportamiento muy poco solidario para un sistema que supuestamente actúa de manera unitaria.

f) Sigue habiendo depósitos de sílice (nódulos de sílex) y carbonatos (en las sebkhas) inorgánicos, aunque es cierto que muy minoritarios.

g) La explicación gaiana a la dispar evolución climática de los planetas terrestres tiene un punto débil: aún no sabemos si hubo o no vida en Venus y Marte primordiales, o si la hay en el Marte actual. En caso afirmativo, tendríamos casos de biosferas que no lograron controlar su ambiente planetario.

h) Aunque los datos son imprecisos, se ha comparado a la Tierra primordial con Venus; sin embargo, algunas de las rocas más antiguas de la Tierra (> 3.800 Ma) parecen haberse formado en un complejo subductivo, con lo que la supuesta imposibilidad de la subducción en un planeta de manto muy caliente se vendría abajo. Por otra parte, se están acumulando indicios de que hubo una etapa de reciclaje litosférico en Marte: ¿Apuntaría esto a la existencia de una biosfera marciana? ¿O quizá el duo, Vida-Placas no es inseparable?

## PONIENDO GAIA A PRUEBA

Este debate no va a decidirse fácilmente, en parte porque los dos bandos están metidos en sus respectivas trincheras, pero sobre todo porque Gaia, como teoría esencialmente histórica, no propone muchas pruebas verificables. La más citada es el supuesto control del clima por el plancton mediante la emisión de gases (en concreto, sulfuro de dimetilo) que actúan como nucleadores de las nubes, hipótesis que no ha podido ser comprobada experimentalmente (Slingo, 1988). Por otra parte, en el mismo registro histórico hay preguntas que no son fáciles de responder: por ejemplo, si intentamos encajar Gaia con la teoría evolutiva (Lenton, 1998; Dennett, 1999), habría que aceptar que los organismos que dejan descendencia son los que mejor regulan el medio ambiente. Una idea difícil de concretar: p. ej., al final del Pérmico se extinguieron 96 de cada 100 especies marinas: ¿Tenían los supervivientes algún rasgo especial que los hiciese mejores reguladores ambientales? ¿Es realmente Gaia la que decide quién se salva y quién perece en una extinción? ¿Es este concepto aplicable en casos de intervenciones externas aleatorias? Y, ¿cuál es su límite? ¿Cómo habría encajado la biosfera el impacto de un asteroide de cien km, en vez del de uno de diez, al final del Cretácico?

Desde la trinchera contraria también se bombardea con munición de calibre grueso: por ejemplo, los gaianos discuten la supuesta protoatmósfera de CO<sub>2</sub>, arguyendo que no se encuentran sus huellas geoquímicas (en concreto, siderita, FeCO<sub>3</sub>, que no existe antes de los 2.200 Ma), y que por lo tanto es más probable que el principal gas de invernadero del Arcaico fuese el metano, biogénico; sin embargo, el metano se descompone con facilidad por la acción de los rayos ultravioleta.

Un argumento más general (Fyfe, 1996) es que la masa de todas las biosferas, presente y pasadas, podría ser mayor (quizá mucho mayor) que la masa total de la Tierra. Muchos átomos (p. ej., de hierro) que ahora encontramos en minerales pueden haber pasado parte de su vida en el interior de una célula. En estas condiciones, los gaianos preguntan si es creíble la imagen de la Vida como un pasajero pasivo del planeta, especialmente cuando los hallazgos de bacterias a miles de metros de profundidad nos hablan de una asociación íntima de lo orgánico y lo inorgánico.

## GEOBIOFILOSOFÍA

Volvamos a una de las primeras acusaciones contra Gaia, la de su posible carácter teleológico. ¿Tiene Gaia un telos, un propósito? No nos parece que ésta sea una objeción importante, porque todos los organismos tienen un objetivo, el de mantenerse vivos y transmitir la vida; admitirlo no significa proponer que las plantas, animales o bacterias sean conscientes. El concepto esencial para esta discusión no es el de teleología, sino el de teleonomía, una variante del término que ha sido utilizada por autores como Jacques Monod y Konrad Lorenz para referirse a las estructuras de los organismos que

cumplen funciones, que son útiles. Al igual que nuestras máquinas (empezando por el hacha de piedra), las estructuras teleonómicas son objetos dotados de proyecto: son las que distinguen una abeja de una montaña. Los picos y los valles no cumplen funciones, no tienen proyecto: están hechos “por”, no “para”. Si Gaia es un superorganismo debería tener estructuras teleonómicas. ¿Dónde están? Y, sobre todo, ¿cómo podrían haber surgido? ¿Quizá de la cooperación? Pero, ¿cómo podrían cooperar los organismos si la razón por la que han evolucionado es precisamente porque compiten entre sí? ¿Podrían cooperar altruistamente en favor de Gaia? Es cierto que se observan comportamientos altruistas, pero son intraespecíficos: en un tiempo se dijo que tal altruismo se realizaba por el “bien de la especie”, noción que ha sido sustituida por la del bien de los genes (en una serie de teorías que comienzan con Haldane y siguen con Hamilton, Maynard Smith, Dawkins y Wilson). Si los comportamientos altruistas nos remiten en último término al gen egoísta, ¿cómo vamos a creer que todos los individuos de la Biosfera reman en la misma dirección?

## CONCLUSIÓN: ¿LOVELOCK COMO COPÉRNICO?

Todos lo que aspiramos a una comunicación cada vez mayor entre las Ciencias de la Vida y de la Tierra tenemos que estar reconocidos a Lovelock y Margulis por su idea. Al mismo tiempo, en muchos naturalistas hay una cierta irritación contra este concepto debida probablemente al hecho de que la carga simbólica de Gaia impide tratarla con la misma sistemática que a otras ideas científicas. Este rasgo, sin embargo, está dejando de ser único: de igual forma que Lovelock eligió a la personificación griega de la madre Tierra, Rampino (1991) ha denominado Siva (el Destructor, en el panteón hindú) a su hipótesis de las extinciones periódicas, y Sclurefinhuber (1999) ha llamado Prometeo al factor representado por la civilización moderna, que no nos trae explicaciones sino problemas. Parece que las Ciencias de la Tierra se han decidido por el camino de lo simbólico, y no siempre es fácil separar lo científico de lo metafórico en estas ideas.

No lo será hasta que no tengamos un término de comparación. Lo que se pone de relieve, de nuevo, es la debilidad de las teorías que sólo pueden aplicarse a un caso. Si alguna vez llegamos a tener varias biosferas para estudiar (aunque sólo sean rayas en un espectrómetro), estaremos en mejores condiciones para juzgar la idea de Gaia, en sí misma y en sus conexiones con el ambiente planetario y con la civilización. Ahora sólo tenemos intuiciones, como la contenida en una famosa frase de James Lovelock, que conecta su propio símbolo con el de Prometeo: “Es muy improbable que nada de lo que hagamos amenace a Gaia.”, una sentencia que ha alarmado a los ecologistas y que confirma la carga intuitiva y polémica de la última teoría global sobre la Tierra. Llegamos así a un punto situado más allá de la Ciencia experimental, en el que hay que tomar

partido individualmente. Además de una teoría científica, Gaia es una bella metáfora: quien quiera puede adoptarla, y quien no, renunciar a ella, y por extensión a todas las metáforas. En ese párrafo hermoso y terrible con el que cierra su libro "El azar y la necesidad, Jacques Monod nos invita a escoger entre el reino de la Ciencia y las tinieblas de las creencias irracionales. ¿Queda, en este dilema, un hueco para ese híbrido de Ciencia y Mística que es Gaia? Falta perspectiva para responder con certeza. Se ha dicho que Lovelock ha sido, como Copérnico, un adelantado a su tiempo: ha descubierto cómo funciona El Sistema, pero no *por qué*. Habrá alguna vez un Newton para Gaia?

## BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, D.L. (1984). The Earth as a planet: Paradigms and paradoxes. *Science*, 223, 347-355.
- Cudnot, C. (1967). Pierre Teilhard de Chardin. Las grandes etapas de su evolución. Taurus, Madrid.
- Dennett, D.C. (1999). La peligrosa idea de Darwin. Galaxia Gutenberg, Barcelona.
- Fyfe, W.S. (1990). Geosphere forcing: Plate tectonics and the biosphere. *Palaeogeogr., Palaeoclimat., Palaeocol.*, 89,185-191.
- Fyfe, W. S. (1996). The biosphere is going deep. *Science*, 273, 448.
- Lenton, T.M. (1998). Gaia and natural selection. *Nature*, 394, 439-447.
- Lovelock, LE. y Margulis, L. (1974). Atmosphere homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis. *Tellus*, 26, 2-10.
- Rampino, M.R. (1991). Gaia versus Shiva: Cosmic effects on the long-term evolution of the terrestrial biosphere. En: S.H. Schneider y P.J. Boston (Eds.). *Scientists on Gaia*. The MIT. Press, Cambridge, p. 382-390.
- Schncllnhuber, H.J. (1999). 'Earth System' analysis and the second Copernican revolution. *Nature*, 402, C19-C23.
- Slingo, T. (1988). Can plancton control climate? *Nature*, 336, 421. ■