

Homeostasis global y selección natural un juicio para *Gaia*



Miguel Ángel Munguía Rosas

En 1965, durante un programa de exploración de la National Aeronautics and Space Administration (NASA), James Lovelock examinó la atmósfera de diversos planetas; buscaba desarrollar un modelo para predecir la presencia de vida. Analizó la composición atmosférica de los planetas que no albergan vida y la de la Tierra, y advirtió que en los primeros la mezcla de gases estaba en completo equilibrio químico y que lo opuesto sucedía en nuestro planeta. Las atmósferas de Venus y Marte están dominadas por dióxido de carbono, mientras que la Tierra presenta una extraña combinación de gases altamente reactivos, como el metano y el oxígeno, que difiere por muchos ordenes de magnitud del esperado en el equilibrio químico. No pudo evitar relacionar su hallazgo con los seres vivos —que son sistemas termodinámicamente abiertos fuera del equilibrio— y sugirió que los organismos son más que simples pasajeros de la Tierra que modifican activamente la atmósfera de acuerdo con sus requerimientos, conduciéndola fuera

del equilibrio químico. Entonces, la vida podría detectarse indirectamente analizando la composición de la atmósfera de los planetas.

Las grandes cantidades de gases producidas por los seres vivos están involucradas en el mantenimiento de la composición inestable de la atmósfera terrícola. La vida también es la causa de la homeostasis —la capacidad de un sistema para mantener determinados parámetros dentro de ciertos márgenes a pesar de los cambios en su entorno— en la composición atmosférica por periodos de tiempo que rebasan la residencia esperada de los gases según sus propiedades fisicoquímicas. Las condiciones actuales de nuestro planeta se mantienen dentro de los límites relativamente estrechos que los eucariontes multicelulares —algas, hongos, líquenes, etcétera— pueden tolerar. La vida persiste a pesar de que, desde que se originó, la temperatura del Sol se ha incrementado alrededor de 25%. La vida está involucrada en la regulación del clima.

Lovelock, quien decidió llamar *Gaia* al complejo Tierra-vida, recibió fuertes críticas, entre las que destacan que en su forma inicial sugiere que los organismos buscan un objetivo, es decir, es teleológica; aparentemente es incongruente que pueda emerger la autorregulación en el nivel planetario mediante el proceso de selección natural, el cual opera sobre individuos; y es sumamente difícil plantear una hipótesis nula para una teoría de estas dimensiones, y más difícil aún conducir algún experimento.

En 1974, Lovelock y la microbióloga Lynn Margulis conjugaron sus observaciones sobre comunidades de bacterias y publicaron un trabajo con un título seductor, *Homeostasis atmosférica por y para la biósfera*. La hipótesis, en su forma original, establecía que la vida regula la composición atmosférica y el clima; ahora se ha modificado en función de las críticas recibidas, perdiendo paulatinamente el marco sensacionalista característico de Lovelock. En 2002, Lenton y Van Oijen describieron una

versión moderna de la teoría. *Gaia* es un sistema cibernético cuyos elementos esenciales son la vida que afecta su ambiente, todos los organismos toman energía libre y excretan compuestos con alto grado de desorden para mantener su entropía interna baja; el crecimiento y la reproducción de los organismos; el ambiente que limita la vida, para cada variable ambiental existe un rango o nivel en el cual el crecimiento de un organismo se maximiza; y la selección natural, una vez que el planeta es habitado por diferentes formas de organismos cuya variación es heredable, la presión de selección y la competencia por recursos limitados filtra los genotipos con mayor adecuación. *Gaia* comprende la biósfera, la atmósfera, la hidrósfera, la materia orgánica muerta y el suelo, difiere del sistema Tierra previo a la vida y de la biósfera porque llega más allá del espacio ocupado por la vida.

Modelos de vida artificial

Los organismos, de acuerdo con *Gaia*, crean en conjunto un ambiente propicio para su desarrollo, con lo que parecería inevitable pensar en cooperativismo en el nivel de la biota total y, por lo tanto, en selección de grupos. Esto haría que *Gaia* sea insostenible según la actual teoría de la evolución, la cual postula que la unidad sobre la que opera la selección natural es el individuo. En relación con esto, en una ocasión Hamilton comentó, “así como Copérnico necesitó de Newton para explicar sus observaciones, yo necesito otro Newton para poder explicar cómo la selección natural pudo originar la homeostasis global”. Lejos de revivir a Newton para responderle, Lovelock creó la parábola

del planeta de las margaritas, que en su forma original asume un planeta que gira alrededor de una estrella, a una distancia similar a la que existe entre la Tierra y el Sol, y que la temperatura aumenta con el tiempo. En el planeta existen dos especies, una margarita negra y otra blanca, que compiten por espacio y afectan su medio inmediato mediante la refracción de la luz. Tanto las margaritas negras como las blancas presentan tasas de crecimiento óptimas a 25°C y un rango de tolerancia de entre 5 y 40°C, ambas tienen la misma tasa de crecimiento, pero difieren en su capacidad para reflejar la luz, las blancas enfrían su ambiente —alta refracción—, mientras que las negras lo calientan —alta absorción—. En un principio, el planeta presenta bajas temperaturas, lo que impide que las semillas germinen, pero conforme se incrementa la temperatura, las primeras semillas logran germinar. La refracción de la luz de las margaritas blancas provoca que su temperatura sea más fría que la de su ambiente, lo que obstaculiza su crecimiento. En contraste, las margaritas negras calientan su medio y favorecen su reproducción, por lo que proliferan calentando más el ambiente, lo cual favorece el crecimiento de ambas especies. Con el aumento de la temperatura, llega un momento en que las margaritas negras son perjudicadas por su alta absorción de radiación y su población declina. En este punto, las margaritas blancas son las que dominan el planeta hasta que la temperatura excede los rangos de tolerancia. Aunque aumente la temperatura de la estrella hasta 45°C, la superficie del planeta permanece cercana al óptimo. Las margaritas funcionan como termostato, pues las dos espe-



cies presentan tendencias opuestas. En 1995, Stöcker incorporó al modelo la capacidad de mutación en el color de las margaritas, bajo este supuesto el planeta experimenta mayor capacidad de regulación y por periodos de tiempo más prolongados.

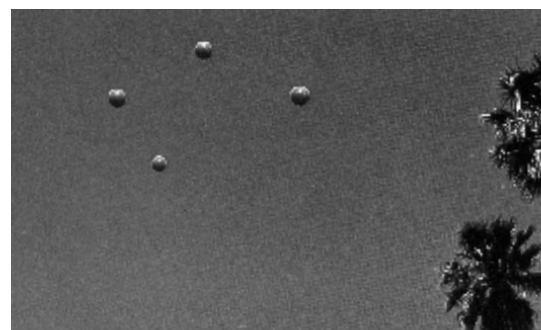
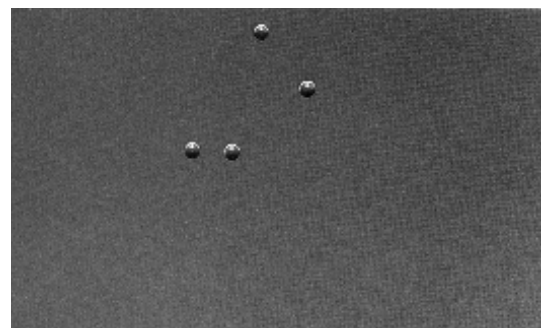
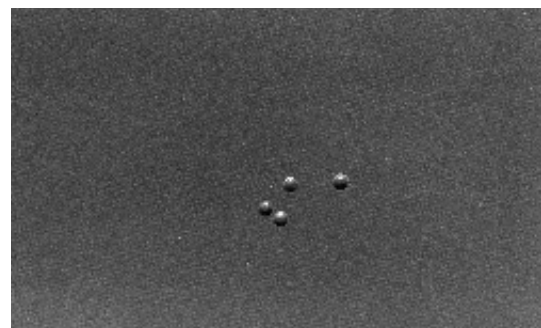
Saunders, en 1994, y Robertson y Robinson, en 1998, plantearon dos cuestionamientos al modelo del planeta de las margaritas. Primero, ¿qué pasaría si alguna de las especies de margaritas o ambas, en lugar de regular la temperatura se adaptara a temperaturas cada vez más altas? Segundo, ¿por qué no surge por mutación un defraudador que no contribuya, pero que se beneficie con la regulación de los demás? Ser defraudador puede proporcionar una ventaja, pues economiza recursos que puede invertir en su adecuación, ¿qué mecanismos de recompensa tienen los organismos que cooperan y cuáles evitan la presencia de defraudadores?

En 2000, Lenton y Lovelock respondieron al primero argumentando que la adaptación no puede ser ilimitada, “una margarita adaptada a una temperatura de 100°C no es algo coherente”. Incorporaron un término al modelo que limita la capacidad de adaptación, con lo que lograron reinstalar al planeta de las margaritas en el marco de la evolución. Dos años más tarde, Sugimoto analizó nuevamente la adaptación de las margaritas considerando que las plantas tienen una capacidad de adaptación variable; encontró que las margaritas no pierden la capacidad de regular la temperatura a pesar de las diferencias entre los individuos. Introducir en el modelo la capacidad de adaptación diferencial sólo lo ajusta más a situaciones reales.

Para resolver el segundo cuestionamiento, Lovelock introdujo en el planeta de las margaritas una planta gris, la cual se podría esperar que ahorre energía porque no participa en la regulación del medio que realizan las blancas y las negras. De acuerdo con los resultados, la margarita gris no destruye la capacidad de regulación del sistema, sólo tiene ventaja mientras la energía de la estrella está en el punto donde la regulación no es requerida. A medida que se incrementa la temperatura en el mundo de las margaritas, el costo de participar en la regulación es recompensado por el beneficio de mantener la temperatura cercana al óptimo para su crecimiento.

En 2001, Harding incluyó en su modelo, además de las margaritas, herbívoros y carnívoros. Con él predice que las plantas más abundantes serán las más atacadas por los herbívoros, algunas evolucionan con estrategias antiherbívoro y las que poseen mayor potencial biótico pueden sobrevivir porque la población de herbívoros es controlada por la de carnívoros. Las margaritas continúan regulando la temperatura de la atmósfera, regulación que emerge de procesos como la competencia, la depredación y la selección natural.

Algunos trabajos teóricos trataron de abordar el problema de la homeostasis global mediante modelos que hacen una abstracción de un ecosistema. En 2003, Wilkinson enumeró las características mínimas que en cualquier planeta con vida basada en carbono debe presentar un ecosistema para ser autorregulable: flujo de energía, múltiples gremios, compromisos ecológicos que promueven la diversificación de los gremios, hiperciclos ecológicos, captación de





carbono y posiblemente fotosíntesis. Cuatro años antes, Downing y Zvrinsky habían retomado la mayoría de los elementos enumerados por Wilkinson para modelar el desarrollo de un gremio biogeoquímico artificial. El modelo demostró que cuando una biósfera artificial tiene una cantidad limitada de recursos y un vasto número de organismos, la competencia promoverá que la biota desarrolle innovaciones metabólicas. Muchos gremios biogeoquímicos pueden emerger cuando un desecho se convierte en recurso para otros. Esta transferencia de materiales puede forjar ciclos y procesos de retroalimentación, lo que le permite a la biota ganar más biomasa de la que el flujo externo puede soportar.

Teleología

El título del artículo donde se postulaba la teoría de *Gaia*, *Homeostasis atmosférica por y para la biósfera*, sugiere que la biota busca una meta. Sin embargo, buena parte de los títulos de los trabajos de Lovelock tienen esa connotación, por lo que puede ser más cuestión de estilo que de teleología explícita. Las hipótesis con alguna connotación teleológica refutan la selección natural como un proceso evolutivo, porque la última es un mecanismo y no un principio, no busca una meta, simplemente regula el paso de un carácter que confiere ventaja de un individuo hacia otro, por medio de la sobrevivencia y la reproducción diferencial.

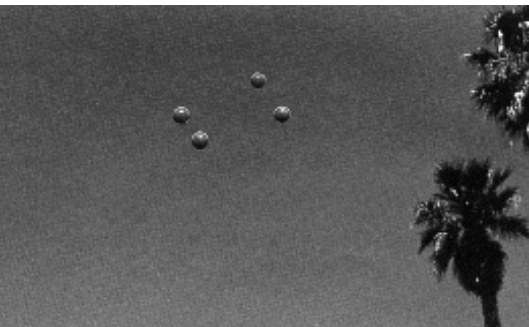
La teleología en *Gaia* puede ser simplemente una cuestión de enfoque. Una adaptación con cierta función *X* podría tener otros efectos adicionales *Y* y *Z*, los cuales no pueden considerarse como la función

primaria de esa adaptación. Transportando este razonamiento hasta un ejemplo real, la fotosíntesis tiene como principal función la captura de energía por medio de la conversión de la energía luminosa en glucosa; por lo tanto, la liberación de oxígeno y el consumo de bióxido de carbono son efectos colaterales. No sería coherente interpretar la producción de oxígeno como algo consciente para beneficio de los organismos aerobios. Sin embargo, los últimos son beneficiados. No es coherente argumentar teleología cuando la regulación en el nivel global no es el objetivo, sino un efecto colateral.

Un sistema complejo adaptativo

Un sistema complejo, aquel que no puede explicarse por el comportamiento de sus partes, tiene propiedades emergentes que describen su conducta colectiva. La diversidad e individualidad de componentes, la interacción de ellos y un proceso autónomo que los selecciona son los tres elementos esenciales de los sistemas complejos adaptativos de donde pueden emerger propiedades como la adaptación continua, la ausencia de un controlador global, la organización jerárquica, la generación de novedades perpetuas y el desequilibrio termodinámico. Ejemplos de sistemas complejos adaptativos son los organismos y los ecosistemas.

El término adaptativo no significa que todo el sistema esté sometido a la selección, se utiliza para describir el desarrollo y la respuesta del sistema, y se aplica a aquellos no sujetos a la selección natural como un todo, aunque sus partes posiblemente sí. Aunado a esto, si se considera la selección en un sentido más amplio



que la selección natural, podemos describir conductas adaptativas que no son necesariamente el producto de la última.

Gaia es un sistema complejo adaptativo porque tiene diversas partes interconectadas y sus propiedades no se explican totalmente por sus componentes; además, posee los tres elementos básicos: sostiene una gran diversidad e individualidad de componentes, existe interacción entre los organismos y, al menos, un proceso autónomo de selección —la selección natural. Como *Gaia* es un sistema complejo, emergen las propiedades mencionadas: es un sistema fuera del equilibrio, genera perpetuamente novedades —evolución—, tiene una organización jerárquica —poblaciones-ecosistemas-*Gaia*— y no existe un controlador global.

Considerar a *Gaia* como un sistema de tal naturaleza neutraliza la necesidad de recurrir a la selección en el nivel de grupo, porque la selección no opera en el nivel de todo el sistema, sino en sus partes. El hecho de que el sistema total aparente ser un sistema armónico no es teleología, es una propiedad emergente.

Un sistema cibernético

La cibernética estudia los sistemas que son regulados por retroalimentación, mecanismos que mantienen al sistema dentro de un marco de variación bien delimitado —placa homeostática. Cuando el proceso conserva al sistema dentro de la placa homeostática se denomina retroalimentación negativa, mientras que cuando se incrementa la tendencia de una respuesta más allá de la placa los mecanismos constituyen la retroalimentación positiva. La teoría de sistemas

cibernéticos, ampliamente empleada en ecología —interacciones depredador-presa, ciclos biogeoquímicos, etcétera—, puede utilizarse para explicar la resiliencia —capacidad para volver a la situación anterior de una alteración, tras cesar la causa de la última— de *Gaia* durante el tiempo en que la vida ha permanecido en la Tierra.

Lovelock sugirió que *Gaia* se autorregula en el rango de lo habitable. El término regulación es utilizado, en un sentido cibernético, como la tendencia de un sistema para contrarrestar las perturbaciones. La hipótesis de *Gaia* propone tres elementos en la regulación: los procesos de retroalimentación que contribuyen con la homeostasis ambiental, los organismos que construyen un am-

biente favorable para la vida y los mecanismos de retroalimentación que emergen por selección natural. En 2002, Kirchner criticó estos elementos, argumentando que los mecanismos mediados por retroalimentación no son intrínsecamente homeostáticos, que muchos de los mecanismos biológicos que afecta el clima son desestabilizadores; es decir, algunos mecanismos de retroalimentación biológicamente mediados son amplificadores —retroalimentación positiva— y no depresores —retroalimentación negativa— de procesos ambientales como el calentamiento global. Afirmaba también que la retroalimentación biológicamente mediada no necesariamente hace al ambiente más favorable para la vida —aunque lo aparenta—, la imagen



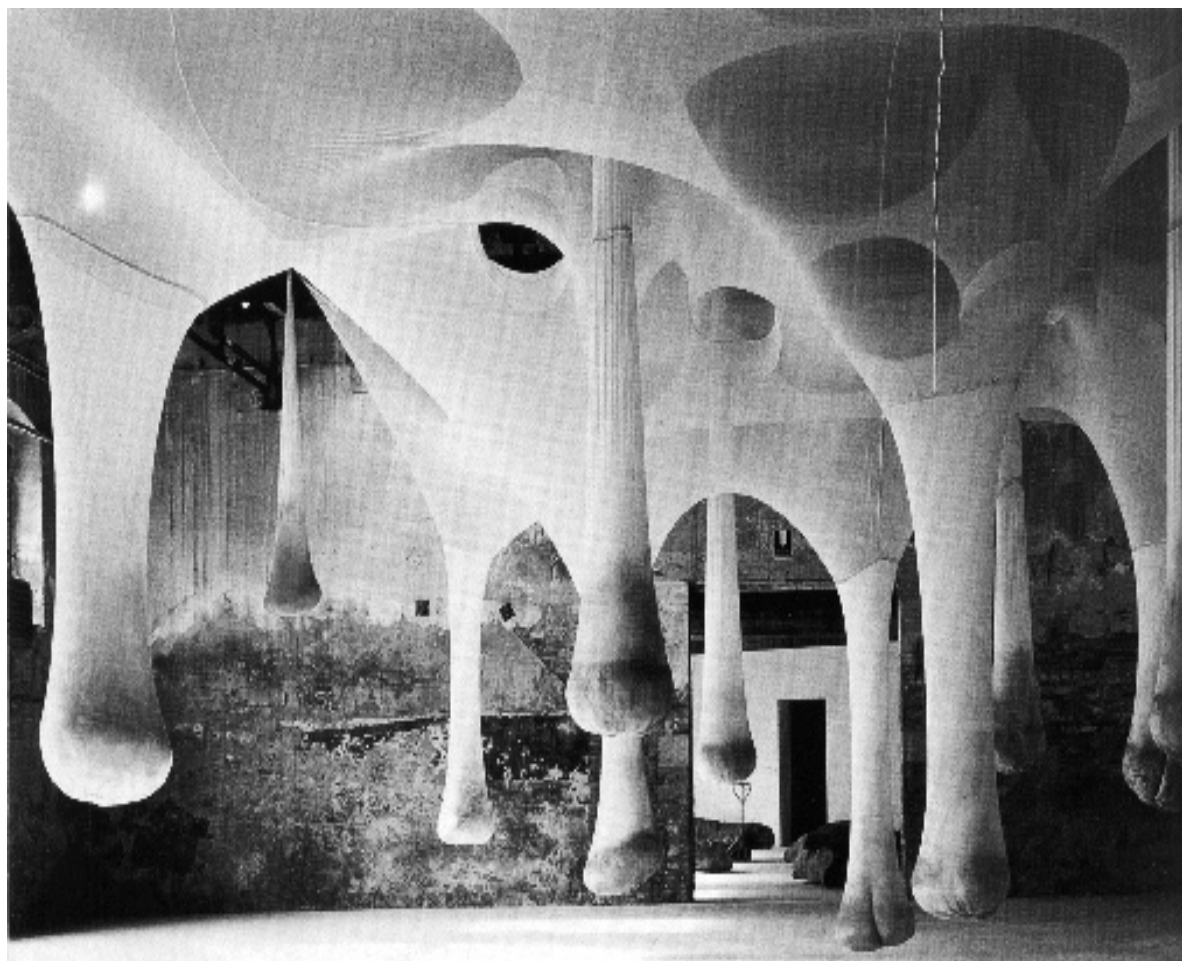
del ambiente completamente armónico con la vida es simplemente un artefacto, producto de la fuerza purificadora de la selección natural, la cual sólo favoreció los organismos con mejor desempeño en sus respectivos ambientes. Por último, decía que si bien la retroalimentación que favorece la homeostasis de *Gaia* puede haber evolucionado por selección natural, también puede hacerlo la retroalimentación disruptiva.

Los partidarios de *Gaia* rápidamente respondieron a las inquietudes de Kirchner. Los procesos de retroalimentación no emergen por selección natural, la retroalimentación es una propiedad emergente de

Gaia. Los sistemas anti-*Gaia* no pueden permanecer mucho tiempo porque se colapsarían. El patrón avalado por la historia geológica es que existen largos periodos de estabilidad, regulados principalmente por retroalimentación negativa, interrumpidos por intervalos cortos en los que predomina la retroalimentación positiva —por ejemplo, las extinciones masivas. De hecho, la teoría de *Gaia* siempre ha integrado eventos de retroalimentación, tanto negativa como positiva.

En 2003, Volk sugirió que la emergencia de retroalimentación puede explicarse mediante mecanismos que operan en el nivel del individuo.

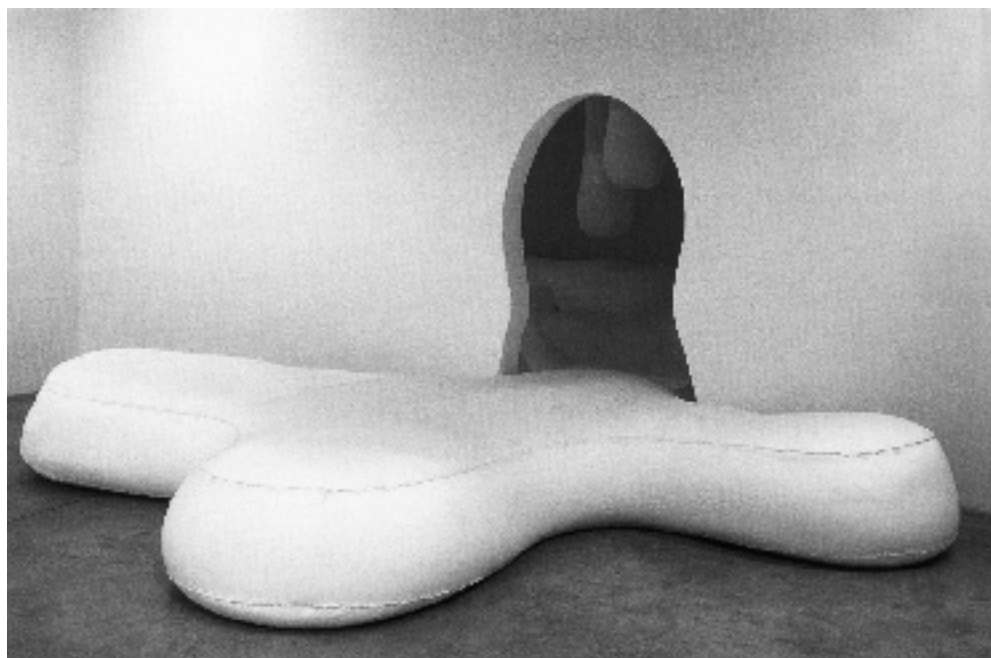
Para él, los elementos clave son los subproductos, que en su forma más simple son desechos de los organismos. Estos subproductos no evolucionaron para ser evacuados al ambiente y alterar su composición química, si eso sucede es un efecto colateral. Aunque los desechos son sustancias inútiles para los organismos que los producen, pueden y de hecho afectan el ambiente global. Si consideramos que la Tierra tiene recursos limitados y una vasta cantidad de organismos, la competencia y la selección natural pueden favorecer la presencia de nuevas rutas bioquímicas, donde se utilicen los subproductos como recurso y se evite así la competencia.



El modelo nulo

Un aspecto que ha obstaculizado la consolidación de *Gaia* es la generación de hipótesis. ¿Cómo podemos hacer una hipótesis nula de una teoría de dimensión planetaria donde sólo tenemos una $N = 1$? De acuerdo con *Gaia*, la vida ejerce gran influencia sobre su medio para su propio beneficio, pero ¿cuál es ese beneficio y cómo puede medirse? En 2002, Kleidon propuso utilizar la productividad primaria bruta como indicador de los efectos favorables de la vida en su ambiente. Las hipótesis nulas de Kleidon son: a) anti-*Gaia*: los efectos de la biota sobre el ambiente son disruptivos y repercuten en baja productividad primaria bruta, el porcentaje de esta última con vida es menor que el de la abiótica; b) no *Gaia*: pueden existir efectos de la biota sobre el ambiente, pero no incrementan ni deprimen la productividad mencionada, aquella con biota es igual que la sin biota; c) favorables a *Gaia*: la biota modifica las condiciones ambientales de acuerdo con sus requerimientos, esto repercute en mayor productividad primaria bruta, pero sin alcanzar el máximo, aquella con biota es mayor que la abiótica; y d) *Gaia* óptimo: los efectos de la biota modifican favorablemente la productividad, al punto en que el ambiente es óptimo para la vida, aquella con biota es mayor que la abiótica.

Las hipótesis nulas pueden probarse con modelos empíricos bioclimáticos. Uno de ellos resta el papel de la vegetación en la captación de carbono y otro incrementa la precipitación natural en un 30%. Los resultados obtenidos sugieren un significativo efecto benéfico de la vida sobre la productividad mencionada,



respecto al ambiente abiótico. Esto proporciona argumentos para rechazar las dos primeras hipótesis. 30% de precipitación adicional sólo incrementa la productividad del mundo real en 5% y no alcanza el óptimo, por lo que la última hipótesis también es rechazada. La tercera es la única que resiste los intentos de refutación utilizando como parámetro la productividad primaria bruta.

Evidencia empírica

La ciencia avanza mediante un proceso de conjetura y refutación. Las teorías se proponen por medio de especulaciones y se contrastan contra observaciones. En 2003, Kirchen argumentó que no existen posibilidades de comprobar empíricamente la teoría de *Gaia*. Las cuatro hipótesis nulas planteadas sólo pueden contrastarse y refutarse con base en datos que provienen de modelos, no de estudios empíricos. Las evidencias

de que *Gaia* existe provienen principalmente de modelos teóricos. Sin embargo, esta es una fase característica en el desarrollo de cualquier teoría —sobre todo de una que trata de fenómenos en el nivel global, con limitadas posibilidades de experimentación. Los partidarios de *Gaia*, para recabar evidencia empírica, han buscado ciclos en la escala del ecosistema o huellas del pasado que puedan ejemplificar cómo emerge la autorregulación.

Desde sus inicios, *Gaia* fue planteada con base en datos empíricos, como las observaciones de Lovelock con espectrografía infrarroja de la atmósfera de varios planetas. En la Tierra existen varios ciclos homeostáticos que involucran factores climáticos, químicos, geológicos y biológicos, algunos de ellos son la regulación de largo plazo de las temperaturas globales por organismos fotosintéticos, el mantenimiento en los océanos de la salinidad relativa,

la proporción fósforo-nitrógeno en los cuerpos de agua y en los microorganismos acuáticos, la habilidad de la vida para crear rutas eficientes de reciclaje para los nutrientes presentes en cantidades limitadas y la producción de un precursor de

vida. El uso de combustibles fósiles ha colocado las concentraciones de los gases de invernadero más allá de los límites observados en los últimos cuatrocientos mil años. La composición de la atmósfera no es regulada eficientemente por los in-

—lo cual es anticipado con modelos empíricos.

Un año después, el mismo Kirchner adicionó otras interrogantes en la agenda de *Gaia*: ¿qué controla la magnitud y duración de los ciclos glaciales e interglaciales?, y ¿por qué cambian todo el tiempo?, ¿qué controla los patrones de extinción y diversificación en el registro fósil?, y ¿cómo están ligados con el clima? Sería prematuro decir que estas preguntas no pueden contestarse, porque apenas fueron planteadas.

El juicio

En los últimos años creció la apertura de los editores de revistas científicas para publicar trabajos sobre la hipótesis de *Gaia*, lo que puede considerarse una evidencia de que está ganando un lugar como una teoría científica seria. Los modelos teóricos son otras evidencias que apoyan a *Gaia*. Elementos críticos para la teoría de la evolución —como la competencia intra e inter específica, la limitación de recursos, la mutación y la presión del ambiente— se han integrado con éxito en los modelos del planeta de las margaritas y de la vida artificial. La historia que narran parece infalible, los modelos teóricos tienen la capacidad de integrar cualquier elemento y refutar así las críticas. Sin embargo, la impresión de que son infalibles no es una propiedad de *Gaia*, sino de los modelos.

Mientras que Lenton en 2002, y junto con Wilkinson un año después, habla de que el incremento en el número de publicaciones sobre *Gaia* anuncia la emergencia de un nuevo paradigma, Kirchner, en 2003, dice que el terreno que ha ganado se debe a las modificaciones que sufrió y a



dimetil sulfuro (DMS) por parte del fitoplancton marino, el cual funciona como núcleo de condensación de nubes y puede actuar como un termostato en el nivel global.

Los opositores de *Gaia* han citado otros fenómenos que parecen no ajustarse a ella. En 2002, Kirchner mencionó que la producción antropogénica de dióxido de carbono es evidencia de la pobre capacidad reguladora de la

dividuos. Los partidarios de *Gaia*: respondieron que la aparente falta de regulación de los gases de invernadero en la atmósfera actual es el resultado de la incorporación de carbono que estaba inmovilizado. Después de un periodo probablemente no perceptible en la escala humana, cuando el combustible fósil se agote, los organismos regularán de nuevo las concentraciones de esos gases

lo que han cedido los opositores. Sin embargo, existen puntos de concordancia entre partidarios y algunos opositores cuando opinan que entre la atmósfera y la biósfera deben emerger procesos de retroalimentación, que los sistemas acoplados por retroalimentación pueden exhibir propiedades emergentes, incluso la autoregulación y que la Tierra debe considerarse como un todo.

Aunque la evidencia que trata de reconciliar a *Gaia* con la selección natural es creciente, existen problemas que dificultan realizar un juicio sobre ella. La mayoría de los cuestionamientos que plantean los opositores aún surge desde una visión reduccionista y no de una donde la Tierra sea vista como un sistema global. Los partidarios deberán reunir más datos de procesos reales compatibles con

Gaia, así como tener iniciativas de experimentación —un microcosmos podría ser una alternativa. A pesar de las limitaciones para la última, la teoría actualmente vive su etapa de mayor intensidad de debate científico. La aceptación de *Gaia* parece no estar lejos. Sin embargo, su completa aceptación no será en su forma actual, seguramente tendrá que sufrir transformaciones radicales. 🌍



Miguel Ángel Munguía Rosas
Instituto de Ecología A. C.
Xalapa, Veracruz.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Downing K. y P. Zvirinsky. 1999. "The simulated Evolution of Biochemical Guilds: Reconciling *Gaia* and Natural Selection", en *Artificial Life*, núm. 5, pp. 291-318.
Harding S. 2001. "Complexity and Stability in a *Gaian* Ecosystem Model", en *Tellus*, núm. 51, pp. 1-10.
Kirchner J. W. 2002. "The *Gaia* Hypothesis: Fact, Theory, and Wishful Thinking", en *Climatic Change*, núm. 52, pp. 391-408.
Kirchner J. 2003. "The *Gaia* Hypothesis: Conjectures and Refutations", en *Climatic Change*, núm. 58, pp. 21-45.
Kleidon A. 2002. "Testing the Effect of Life on Earth's Functioning: How *Gaia* is the Earth System", en *Climatic Change*, núm. 52, pp. 383-389.

Lenton T. M. y J. E. Lovelock. 2000. "Daisy World is Darwinian: Constrain on Adaptations are Important for Planet Regulation", en *Journal of Theoretical Biology*, núm. 206, pp. 109-114.
Lenton T. M. y M. Van Oijen. 2002. "*Gaia* as a Complex Adaptive System", en *Philosophical Transactions B*, núm. 357, pp. 683-695.
Lenton T. M. 2002. "Testing *Gaia*: The Effect of Life on Earth's Habitability and Regulation", en *Climatic Change*, núm. 52, pp. 409-422.
Lenton T. M. y D. M. Wilkinson. 2003. "Developing the *Gaia* Theory", en *Climatic Change*, núm. 58, pp. 1-12.
Lovelock J. E. y L. Margulis. 1974. "Atmospheric Homeostasis by and for the Biosphere: The *Gaia* Hypothesis", en *Tellus*, núm. 26, pp. 2-9.
Lovelock. 2003. "The Living Earth", en *Nature*, núm. 426, pp. 769-770.
Robertson D. y J. Robinson. 1998. "Darwinian Daisy World", en *Journal of Theoretical Biology*, núm. 195, pp. 129-134.
Saunders P. T. 1994. "Evolution Without Natural

Selection", en *Journal of Theoretical Biology*, núm. 166, pp. 365-373.
Stöcker S. 1995. "Regarding Mutations in Daisyworld Models", en *Journal of Theoretical Biology*, núm. 175, pp. 495-501.
Sugimoto T. 2002. "Darwinian Evolution Does not Rule Out *Gaia* Hypothesis", en *Journal of Theoretical Biology*, núm. 218, pp. 447-455.
Volk T. 2003. "Natural Selection, *Gaia*, and Inadvertent By-products: A Reply to Lenton and Wilkinson's Response", en *Climatic Change*, núm. 58, pp. 13-19.
Wilkinson. 2003. "The Fundamental Processes in Ecology: a thought experiment on extraterrestrial Biospheres", en *Biological review*, núm. 78, pp. 171-179.

IMÁGENES

Pp. 16, 22, 23 y 25: Ernesto Neto. *Caminando en cueva color azul "Venus"*, 2001; *O Bicho*, 2001; y *Sin título*. Pp. 18, 19 y 20: John Baldessari. *Aventando cuatro pelotas al aire para formar un cuadrado*, 1974. P. 21: Martin Puryear. Sin título, 1997. P. 24: Carsten Höller. *Habitación de hongos invertidos*, 2000.

Palabras clave: Homeostasis global, hipótesis *Gaia*, selección natural.
Key words: Global homeostasis, *Gaia's* hypothesis, natural selection.

Resumen: Se presenta un análisis de la literatura sobre las evidencias actuales que fortalecen y que cuestionan la hipótesis *Gaia* para establecer su estatus actual, principalmente en cuanto su compatibilidad con la teoría de la evolución por selección natural.

Abstract: In this paper we introduce an analysis of the literature about the weakness or possible contributions of *Gaia's* hypothesis in order to determine its actual state, specially its compatibility with the natural selection theory of evolution.

Miguel Ángel Munguía Rosas es biólogo por la Facultad de Estudios Superiores Iztacala de la UNAM. Maestro en Ciencias Biológicas por el Centro de Investigaciones en Ecosistemas (CIECO) de la UNAM. Actualmente cursa el doctorado en Ecología en el Instituto de Ecología A. C. de Xalapa, Veracruz.

Recepción: 17 de febrero de 2005, aceptado el 01 de diciembre de 2005.