



De la Ecología a la Geofisiología Imágenes y metáforas de una naturaleza cambiante

Antonio D. Casares Serrano
dialecthos@yahoo.es

I. Las imágenes de la naturaleza

Cuando Ernst Haeckel definía en su *Generelle Morphologie* (1866) el término *Oecologie*, para caracterizar los estudios que aspiraban a establecer las relaciones de los seres vivos con su entorno, la ecología como máximo exponente de una nueva biología estaba todavía muy lejos de vislumbrar sus consecuencias e implicaciones en las sociedades industrializadas. El impulso que el darwinismo había dado al estudio de los factores ambientales limitantes de la distribución de las especies no encontró una formulación sólida y sostenida por una teoría de la herencia hasta principios de la década de 1950. Hasta ese momento, la plural constitución de la ecología desarrolló la mayor parte de los conceptos y formulaciones estadísticas que la llevarían a su mayoría de edad en el seno de un amplio debate acerca de las imágenes de la naturaleza bajo las cuales el ser humano había intentado las aproximaciones básicas de su conocimiento y control. Un conocimiento que demostró ser –a través primero de la física y más tarde de la ecología–, como se sospechaba desde hacía tiempo, una apuesta mucho más compleja que el resultado de la simple observación de una naturaleza que discurría, objetivamente bajo nuestros pies, al modo de una cálida alfombra que sostenía la vida sobre la Tierra. Una nueva ciencia atenta a las relaciones se abría sutilmente camino entre las viejas propuestas mecánicas de mundos estables y las garantías divinas de una explotación ilimitada.

Paralelamente a los esfuerzos de la morfología y la fisiología por estructurar el corpus de las ciencias biológicas durante el siglo XIX, muchos naturalistas optaron por una mejora y desarrollo de los estudios de campo que se desarrollaron al margen de la investigación académica y universitaria, asociados con la planificación agraria que imponía el creciente aumento de la productividad industrial. No hubo un desarrollo de la ecología fundado en una iniciativa teórica o posición filosófica dominante: desde sus inicios, el desarrollo de los estudios de campo de corte ecológico estuvo vinculado con diferentes imágenes de la naturaleza y con las respuestas sociales que éstas promovieron en cada momento. De este modo, las últimas décadas del siglo XIX estuvieron caracterizadas por una dispersión investigadora en torno a los problemas ecológicos fundamentalmente derivados de la explotación de los recursos y materias primas básicas para el desarrollo industrial desde la perspectiva de una naturaleza estática caracterizada explícitamente por la sobreabundancia y necesitada de una racionalización económica de su gestión.

La imagen de una naturaleza estática se puede remontar hasta el mismo instante de la Creación, y subyace en la mayoría de los planteamientos deístas y románticos que se desarrollaron durante los siglos XVIII y XIX. Desde una filosofía monista la naturaleza aparece como un ente unitario, estable y externo que amortigua

adecuadamente las deformaciones locales que surgen de las relaciones entre los seres vivos y sus medios de existencia. La actividad humana se sitúa a este nivel local como praxis racionalizada de desarrollo sobre el amplio telón de fondo de una naturaleza salvaje que hay que dominar y encauzar teleológicamente. Así se desarrolló inicialmente la labor clasificadora de los naturalistas de los siglos XVI y XVII, en el seno de proyectos nacionales de aprovechamiento y explotación de los recursos coloniales: la ecología manifestaba claramente su vocación de organizar económicamente la naturaleza como fuente inagotable y dispersa de recursos ilimitados.

El tránsito hacia una dinámica de la naturaleza, sin embargo, estuvo latente en muchos de los conceptos que la ecología fue desarrollando a lo largo de las últimas décadas del siglo XIX. En ausencia de una comunidad de investigación caracterizada por planes de investigación dominantes, la mayoría de los estudios ecológicos llevados a cabo en ecología vegetal y animal durante estos años, rindieron una importante variedad de conceptos que poco a poco fueron cambiando la imagen de la naturaleza en la que se habían desarrollado inicialmente. Es el caso del concepto de "habitat" expuesto por Augustin de Candolle en su *Essai élémentaire de géographie botanique* (1820). El habitat como concepto referido a cada especie individual constituyó un importante punto de partida para el estudio de las limitaciones geográficas de las diferentes especies impulsando el estudio conjunto de las relaciones entre los seres vivos y sus medios en un sentido mucho más amplio que las habituales dependencias establecidas por los naturalistas acerca de su alimentación y reproducción.

Un paso mucho más significativo en la constitución de una dinámica natural fue el concepto de "comunidad" propuesto por el botánico danés Eugenius Warming en su *Plantensamfund* (1895):

"El término 'comunidad' implica diversidad pero al mismo tiempo cierta uniformidad organizada de las unidades. Las unidades son las muchas plantas individuales que existen en toda comunidad, sea un bosque de hayas, una pradera o un páramo. Se establece la uniformidad cuando ciertos factores atmosféricos, terrestres y otros, ya descritos, están cooperando, y aparece ya sea porque cierta economía definida imprime su sello en la totalidad de la comunidad, o porque varias formas de desarrollo se combinan para formar un solo agregado que tiene un aspecto definido y constante".¹

En el seno de la comunidad se lleva a cabo la lucha generalizada que define a la naturaleza y se definen las relaciones –incluidas la simbiosis y el parasitismo– que caracterizan una dependencia mutua de las especies que la conforman. Desde un materialismo biológico, Warming señaló además que no sólo competían las especies en el seno de las comunidades sino que las mismas comunidades competían por ocupar lugares naturales para su desarrollo. El concepto de "comunidad" globalizaba las interacciones de numerosas especies y apuntaba hacia una dinámica darwinista – en muchos aspectos, tal vez, más bien victoriana–, que deslizaba el interés de los estudios ecológicos hacia unidades mayores que incluían no sólo los individuos – animales y plantas– sino también sus interacciones con los componentes biogeográficos del medio en el que se desarrollaban conjuntamente definidos por sus relaciones y dependencias mutuas.

¹ Citado en BOWLER, Peter J. (1998): *Historia Fontana de las ciencias ambientales*, México, F.C.E., p. 270. Los trabajos de Warming sobre parasitismo y simbiosis constituyen el tránsito hacia una "geografía ecológica de las plantas": véase WORSTER, Donald (1984): *Nature's Economy. A History of Ecological Ideas*, Cambridge, Cambridge Univ. Press, pp. 198-204.

De los abundantes estudios entorno a las diversas comunidades vegetales desarrollados durante las últimas décadas del siglo XIX, el botánico estadounidense Frederick E. Clements, a partir de sus estudios de la vegetación de los pastizales y praderas americanas, introdujo el concepto de “comunidad clímax” para designar la configuración vegetal final –en equilibrio y madurez sostenible–, surgida de la sucesión de vegetaciones en un área experimental definida. Clements, en colaboración con Roscoe Pound, aplicaron técnicas cuantitativas al estudio de cuadrantes de terreno previamente seleccionados de modo que les fuera siempre posible la identificación completa de todas las especies que se desarrollaban en cada porción seleccionada de terreno. El resultado de la evaluación periódica y sistemática de la distribución vegetal llevó a Clements a proponer una metáfora organicista de las comunidades vegetales consideradas desde las pautas de desarrollo que llevan a definir su clímax de madurez:

*“Debe considerarse a la sucesión como el desarrollo o biografía de la formación del clímax. Es el proceso orgánico fundamental de la vegetación, que produce la forma adulta o final de este complejo organismo. Todas las etapas que preceden al clímax son etapas de desarrollo. Tienen la misma relación esencial con la estructura estable final del organismo que la planta de semilla y en desarrollo tiene con el individuo adulto”.*²

Las críticas al organicismo de Clements fueron inmediatas, a pesar de que éste señaló en repetidas ocasiones sus reservas ante la aceptación de un enfoque mecánico para el desarrollo de su concepto de comunidad clímax.³ Las formaciones vegetales como organismos complejos con funciones propias y estructura, consideradas como unidades orgánicas sujetas a un estudio complejo, fueron duramente criticadas por el ecólogo británico A. G. Tansley en las primeras décadas del siglo XX. Tansley hizo hincapié en que los procesos de desarrollo observados en las diferentes formaciones vegetales no permitían aceptar la comparación entre las comunidades vegetales maduras y la idea de organismo individual. No obstante, su propuesta del término “cuasiorganismo” y su posterior contribución a la ecología, en 1935, con la definición del concepto de “ecosistema”, como unidad de partida para el estudio coherente y sistemático de las relaciones hasta ahora estudiadas de forma inconexa entre las comunidades vegetales y los animales, daba muestras de hasta qué punto la ecología se encontraba inmersa en las implicaciones de complejidad que el organicismo de Clements había desatado.⁴ La posterior introducción del término “biosfera” por parte del mineralogista ruso Vladimir Ivanovich Vernadsky durante la década de 1920, para designar todas aquellas zonas a nivel planetario que mantenían una interacción con los procesos relacionados con el sostenimiento de la vida,

² BOWLER (1998): *Historia Fontana...*, op. cit., p. 273. El alcance de las ideas ecológicas de Clements se encuentra sintetizado en WORSTER, (1984): *Nature's Economy...*, op. cit., pp. 205-220. En muchos aspectos la visión orgánica de la naturaleza podría rastrearse hasta los albores de la filosofía griega. Véase BOTKIN, Daniel B. (1993): *Armonías discordantes. Una ecología para el siglo XXI*, Madrid, Ed. Acento, pp. 115-126. Botkin aborda en su ensayo el importante dilema presente en nuestros días entre nuestra visión de la naturaleza y las contradicciones de las políticas de gestión de los recursos naturales.

³ Clements señalaba a este respecto en sus *Research Methods in Ecology* (1905): “Es... necesario tener en mente que las funciones de las plantas y de las formaciones son actividades totalmente diferentes que no tienen nada en común excepto estas dos estructuras: la hoja y la zona”, citado en ACOT, Pascal (1990): *Historia de la ecología*, Madrid, Taurus, p. 168.

⁴ Cfr. la crítica conceptual de Tansley al planteamiento organicista de Clements en WORSTER (1984): *Nature's Economy...*, op. cit., pp. 239-242; 301-304.

constituyó un paso decisivo en favor de los estudios ecológicos a nivel planetario y una importante contribución desde una concepción holística y dinámica de la naturaleza más allá de las comunidades de individuos tradicionalmente estudiadas.⁵

El desarrollo de los modelos matemáticos en ecología llevó al ecólogo G. Evelyn Hutchinson en 1946 al estudio sistemático –a partir del concepto de biosfera propuesto por Vernadsky- de los intercambios biogeoquímicos en macrosistemas donde interaccionan las diferentes formas de vida con los elementos tradicionalmente considerados inorgánicos del medio. Se proponía por primera vez el establecimiento de redes ecológicas de intercambio entre los océanos, la atmósfera y la superficie terrestre que mostraban cómo los cambios producidos en estos sistemas implicaban a las diferentes poblaciones de organismos que en estos amplios medios se desarrollaban. Norbert Weiner fundaba paralelamente la cibernética que permitía, por su parte –en conexión con la nueva perspectiva holista de la ecología-, llevar a cabo un impulso operativo de los estudios ecológicos globales mediante el diseño de sistemas autorregulables que alcanzaban a predecir las respuestas parciales de la biosfera a las tensiones que acompañaban el desarrollo de la vida sobre la Tierra. La imagen triunfante de una dinámica de la naturaleza daba paso al cuestionamiento del equilibrio en el que se encuentra inmersa la ecología en la actualidad. Ya sea desde el organicismo, el holismo, la ecología de sistemas o los estudios particulares de adaptación evolutiva, la diversidad de estudios ecológicos, una vez afianzada la madurez científica de la disciplina, siguen estableciendo una pluralidad de perspectivas de investigación que se mantiene hasta nuestros días.

Conviene señalar en último término que el organicismo en ecología posiblemente se encontró con la herencia incomprendida de una filosofía generalizada dentro de las relaciones entre el hombre y la naturaleza. La metáfora orgánica se contempló pronto como una tardía recuperación de las corrientes vitalistas desarrolladas desde el idealismo y el trascendentalismo alemán. Las primeras sugerencias de Haeckel en torno a las posibilidades de los estudios ecológicos fueron llevadas hasta el límite del vitalismo por su discípulo Hans Driesch, durante los primeros años del siglo XX, mediante la defensa de la existencia de una entelequia desconocida, o fuerza no física, responsable del fenómeno vital en toda su diversidad de apariencias. Además, las tentativas organicistas contaban con una importante historia de desafortunados intentos de definir la naturaleza humana por oposición con la unidad material del mundo. Platón, Tomás de Aquino, Hegel o Spencer constituyen pretendidos intentos de fundamentar en la científicidad el análisis social a partir de la metáfora límite de una sociedad considerada como una entidad viva. Estos esfuerzos por configurar una oposición entre el organismo individual y el organismo social no ayudaron mucho a la comprensión del alcance metafórico que el organicismo podía tener en el desarrollo de la ecología, y terminaron debilitando hasta hoy el papel que la metáfora orgánica puede desempeñar en la investigación científica.⁶

⁵ Antecedentes de un concepto tan fundamental para la ecología como el de “biosfera” se encuentran en J. B. Lamarck y Eduard Suess: véase el estudio de GRINEVALD, Jacques (1992): “Come è nata l’idea di biosfera”, en BUNYARD, Peter & GOLDSMITH, Edward (Ed.)(1992): *L’ipotesi Gaia. La terra come organismo viviente: provocazione, teoria scientifica, nuovo paradigma?*, Red/Studio Redazionale, pp. 12-56.

⁶ Fueron sin duda las propuestas filosóficas de Alfred North Whitehead y William Morton Wheeler desarrolladas a lo largo de las primeras décadas del siglo XX, los intentos más firmes de introducir la metáfora organicista en el desarrollo de las ciencias biológicas. Como indica Worster: “As in an organism, Whitehead held, the various parts of nature are so closely interdependent, so densely woven into a single web of being, that none may be abstracted without altering its own identity and that of the whole. Everything is hooked to everything else – not superficially, as in a machine, but essentially, as in the human body. Only by rediscovering this depth of relatedness could science be restored to full sight”, WORSTER (1984): *Nature’s*

Si consideramos, por tanto, la propuesta organicista de Clements como una metáfora que apunta hacia un modelo de racionalización científica de sistemas amplios de relaciones entre los seres vivos y su medio, sin duda hemos de reconocer su capacidad y potencial heurístico. El organicismo permite comprender una autonomía relativa de sistemas parciales que conforman una naturaleza dinámica, a partir del estudio de sus propiedades y estructuras intrínsecas según modelos matemáticos diversos. Sin embargo, como señala Pascal Acot:

*“la línea de la modelización sigue siendo ambigua. Basada en el postulado de cierto isomorfismo entre estructuras pertenecientes a campos diferentes, sugiere inevitable y engañosamente, una identidad ontológica entre los objetos que pone en relación y conlleva, en consecuencia, efectos ideológicos perversos”.*⁷

El problema fundamental del organicismo descansa al parecer en la sospecha de ontologización de las metáforas que la modelización emplea en el estudio de las relaciones entre los seres vivos y sus restricciones medioambientales. Sin embargo, no hemos tenido problemas en aceptar imágenes del mundo subatómico organizado al modo de un microscópico sistema solar, ni una organización cosmológica global –y una imagen del origen del universo-, que tiene innumerables elementos de un creacionismo obsoleto. El conocimiento de la naturaleza al parecer esconde algunos elementos que no se han tenido en consideración en el resto de proyectos de investigación científica del mundo. Por encima de todo no hemos de olvidar que las ciencias no se limitan a descubrir, a descorder el velo de un mundo desconocido que simplemente aguarda a que lo descubramos, sino que interacciona y construye un gran número de recursos y dispositivos que nos permiten alcanzar una imagen del mundo de la que no tenemos ninguna garantía de que sea la realidad misma. ¿Por qué, entonces, esa resistencia a enfrentarnos con una imagen de la naturaleza como –si fuera- un organismo vivo, donde la imagen dinámica alcanzaría su visión extrema?

II. La relación hombre-naturaleza

Paralelamente a la configuración de los estudios de ecología durante los siglos XVIII y XIX, el cambio en las imágenes de la naturaleza que se desarrolla en este periodo responde inevitablemente a una modificación de la relación que el hombre mantiene con su entorno natural. La naturaleza era contemplada como un pozo sin fondo del que se podía extraer la totalidad de los recursos que permitirían un ilimitado desarrollo económico e industrial. Pero trascurrido el inevitable periodo desenfrenado de la conquista de un entorno natural desconocido y salvaje, los estados industriales empezaban a exigir el despliegue de una actividad controladora que garantizara –y sobre todo legalizara los privilegios de las grandes compañías nacionales de explotación- la continuidad de los recursos y materias primas indispensables para el desarrollo sostenido de las nuevas sociedades. Esta actividad protectora de los intereses nacionales acabó desencadenando crecientes tensiones entre aquellos que deseaban y defendían la continuidad de una explotación desenfrenada y aquellos que promovían una racionalización de los recursos a través de una explotación controlada. Fueron estos últimos grupos los que desencadenaron el movimiento conservacionista que resurgió con inusitada fuerza durante las últimas décadas del siglo XIX.

Economy..., op. cit., p. 317. En relación con las contribuciones de ambos filósofos: ibidem. pp. 316-326.

⁷ ACOT (1990): *Historia de la ecología*, op. cit., p. 170.

El triunfo de los conservacionistas estuvo vinculado con la proliferación de estudios ecológicos patrocinados por los gabinetes gubernamentales destinados al control y desarrollo de medidas adecuadas para una explotación científica de los recursos naturales. Como hemos podido comprobar, la mayoría de los estudios ecológicos que acabaron desarrollando el corpus conceptual de la ecología fueron llevados a cabo por científicos marginados del mundo académico y universitario y vinculados con organismos ministeriales para el desarrollo de la agricultura, la ganadería y la pesca. En este sentido, la labor de los primeros “ecólogos” fue el estudio y la erradicación de plagas, el aumento de la productividad y la lucha contra el agotamiento del suelo y la desertización. Se trataba de conservar para mejorar y optimizar la explotación de una naturaleza que ya no estaba definida por un equilibrio estático garantizado por un ente trascendente, sino que constituía un patrimonio de las naciones a desarrollar en todos los aspectos: económico, social, estético, etc. La historia había permitido al hombre llegar a construir su nuevo paraíso terrenal, y era necesario profundizar en su estudio para obtener los mejores frutos de su dominio.⁸

A. G. Tansley, fundador en 1913 de la *Sociedad Ecológica Británica*, señalaba explícitamente la relación hombre-naturaleza que se desplegaba en la nueva política conservacionista de los estados:

*“Es obvio que el hombre civilizado moderno altera en enorme escala los ‘ecosistemas naturales’ o ‘comunidades bióticas’. Pero sería difícil, por no decir imposible, trazar una frontera natural entre las actividades de las tribus humanas que presumiblemente encajaban en las ‘comunidades bióticas’ y formaban parte de ellas y las actividades humanas destructivas del mundo moderno. ¿Es el hombre parte de la ‘naturaleza’ o no?... Considerada factor biótico excepcionalmente poderoso que altera de modo creciente el equilibrio de los ecosistemas preexistentes y finalmente los destruye, formando otros de índole muy diferente al mismo tiempo, la actividad humana encuentra su lugar propio en la ecología”.*⁹

La vieja Europa, con Gran Bretaña a la cabeza, mostraba que los estudios ecológicos no conducían necesariamente a un cuestionamiento de la explotación y del desarrollo continuado de las sociedades industriales. El hombre formaba parte de la naturaleza como organismo administrador y teleológico, y ningún ecosistema podía considerarse superior a otro por el mero hecho de formar parte del estado natural o “comunidad clímax” que la actividad humana alteraba hasta hacerlo desaparecer. El hombre como ser natural forjaba su propio ecosistema y alteraba a la versátil naturaleza en beneficio de su supervivencia. En otras palabras, el ser humano estaba dentro de la naturaleza pero podía actuar sobre ella como si estuviera fuera.

Bajo la perspectiva de la explotación científica expuesta por Tansley se inició la planificación generalizada del conservacionismo estatal mediante la protección de determinadas zonas naturales para el estudio y aprovechamiento social. Los Parques

⁸ Los máximos representantes de la explotación científica y del conservacionismo en los Estados Unidos fueron Theodore Roosevelt, C. Hart Merriam y Gifford Pinchot. Bajo el apoyo ideológico y científico de la Oficina de Estudios Biológicos fundada y dirigida por Merriam, se promovieron grandes inversiones gubernamentales para la exterminación de plagas en los cultivos. Los estudios realizados por la Oficina abogaron por el intervencionismo radical en la distribución natural de las poblaciones para obtener los propósitos definidos por la política de explotación racional. Esto incluía el exterminio de aves, lobos y coyotes considerados como plagas perjudiciales para los cultivos y la ganadería. Puede verse un panorama general en WORSTER (1984): *Nature's Econom...*, op. cit., pp. 258-290.

⁹ A. G. TANSLEY (1935): “The Use and Abuse of Vegetational Concepts and Terms”, citado en BOWLER (1998): *Historia Fontana...* op. cit., p. 372.

Nacionales son el principal ejemplo de estas políticas de conservación y explotación controlada: Yellowstone fue el primer parque creado en 1872 en los Estados Unidos de América. El acta de creación firmada por el presidente Grant parece, no obstante, reflejar una flagrante contradicción que puede considerarse implícita en todo el movimiento conservacionista institucional: la protección de estos lugares se establece como un acto fundacional, como la catalogación de unos territorios que constituyen reliquias o santuarios de algo que se da ya por perdido y que ya no se puede recuperar. La conservación no podía evitar señalar hacia la degradación del entorno en las sociedades industriales y este elemento fue uno de los desencadenantes de la progresiva generalización de la conciencia ecológica y de la movilización activa promovida a través de los movimientos ecologistas.

Institucionalmente, la protección de la naturaleza alcanzó muy pronto cauces internacionales. En 1883 se estableció en París el primer acuerdo sobre protección de focas en el mar de Behring, y en 1895 se celebraba en la ciudad del Sena el Primer Congreso Internacional sobre la protección de las aves beneficiosas para la agricultura. Finalmente, en 1923 se celebró en París el I Congreso Internacional para la Protección de la Naturaleza, momento a partir del cual se generalizarán las iniciativas sociales en torno a la problemática ambiental en las sociedades industriales, y la sucesiva fundación de organizaciones internacionales destinadas a la protección de determinadas parcelas de una naturaleza “desequilibrada” y en peligro.¹⁰ Puede resultar paradójico que mientras que los estudios ecológicos ponían de manifiesto el cambio y la interrelación de comunidades de organismos y elementos ambientales, desde una perspectiva holista que nos revelaba el complejo dinamismo natural, socialmente resurja la imagen del equilibrio natural perdido.¹¹

Al amparo de este paradigma del equilibrio, manejado por las movilizaciones sociales más diversas que aglutina el ecologismo en las sociedades modernas, se publicó en 1962 *Silent Spring* de Rachel Carson, en donde la autora exponía por primera vez los reveladores daños causados al medio por el uso indiscriminado de pesticidas en los cultivos intensivos de las sociedades industrializadas. La obra de Carson no se contentaba con ser una presentación popular de diversos estudios e informes científicos sino que además promovía una importante reflexión ética en torno al reconocimiento de los numerosos conflictos que la actividad humana tiene con la naturaleza. En este sentido se trataba de una obra que demandaba igualmente un nuevo compromiso para los científicos y exigía el compromiso de los estudios ecológicos con la organización estable a largo plazo de nuestras sociedades en el seno de los ecosistemas naturales:

¹⁰ Son algunos ejemplos representativos de esta “estructura internacional permanente” interesada en los problemas ecológicos, las sucesivas conferencias para la protección de la vida salvaje de Berna (1928) y Basilea (1948), año este en el que también se llevó a cabo la constitución de la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza y de sus recursos (UICN), la Conferencia intergubernamental celebrada en la ONU (1968) o la Conferencia de Estocolmo (1972). Véase ACOT (1990): *Historia de la ecología*, op. cit., pp. 181-200.

¹¹ En 1942, el biólogo británico Charles Elton indicaba en su obra *Voles, Mice and Lemmings: “El ‘equilibrio de la naturaleza’ no existe, y quizá no ha existido nunca. Las poblaciones de animales salvajes están variando constantemente en mayor o menor grado, y por lo común las variaciones son irregulares en cuanto a su periodo y son siempre irregulares en cuanto a su amplitud. Cada variación de las poblaciones de una especie causa repercusiones directas e indirectas en las poblaciones de las demás, y como muchas de estas últimas están variando independientemente, es notable la confusión resultante”,* citado en BOWLER (1998): *Historia Fontana...* op. cit., p. 389. Con Elton la ecología y el evolucionismo empezaron a mostrar la complejidad que descansa en el seno de una dinámica natural de escala planetaria: cfr. WORSTER (1984): *Nature’s Economy...*, op. cit., pp. 294-301.

“El ‘control de la naturaleza’ es una frase concebida con arrogancia nacida en la edad de Neanderthal de la biología y de la filosofía, cuando se suponía que la naturaleza existe para la conveniencia del hombre. Los conceptos y prácticas de la entomología aplicada, datan en su mayor parte de la Edad de Piedra de la ciencia. Nuestra alarmante desgracia es que la ciencia tan primitiva se haya armado a sí misma con la más moderna y terrible de las armas, y que al volverla contra los insectos se ha vuelto también contra la tierra”.¹²

El conservacionismo institucional daba paso en la década de 1970 a la multiplicidad de respuestas no gubernamentales desencadenadas por la generalización de la concienciación ecológica y las nuevas propuestas de relación hombre-naturaleza que se despliegan a lo largo de las últimas tres décadas del siglo XX. Todos los sectores de la actividad humana reflejaban un conflicto en su tradicional relación con el medio natural y el ecologismo iniciaba sus primeras críticas globales a las sociedades del fin del milenio. Leyes, administración, política, educación, transportes, urbanismo, consumo energético, contaminación industrial,... nada escapa a la nueva coyuntura ecológica de los tiempos.¹³ La relación de explotación que el ser humano mantiene con la naturaleza se encuentra en crisis, pero desde los movimientos sociales se corre el peligro de recaer en misticismos. Para la mayoría de los movimientos ecologistas, la naturaleza se ha convertido en un valor supremo y absoluto, donde predomina la imagen del hombre como un gusano que profana la religiosa paz de su madre. Por su parte, algunos ecólogos tienden cada vez más a aceptar el compromiso de la complejidad y señalan la necesidad de desarrollar interdisciplinariamente los enfoques que la ecología está intentando aplicar mediante proyectos internacionales que cuantifiquen los flujos de energía y recursos de sistemas ecológicos globales como la biosfera.

Entre las imágenes de la naturaleza y sus implicaciones en la planificación de la actividad humana existe una vinculación emocional difícilmente controlable, tanto al nivel de las conciencias individuales como al nivel de la organización social. La ecología ha de desarrollarse como disciplina científica en el seno de esta dialéctica

¹² CARSON, Rachel L. (1980): *Primavera silenciosa*, Barcelona, Grijalbo, p. 302. El estudio de Carson señalaba algunos de los elementos de la complejidad que encierra el concepto de biosfera y la perspectiva organicista en ecología. En su propuesta ética recoge sin duda el relevo de las obras pioneras del ecólogo Aldo Leopold y su exigencia de concienciación de que el mensaje último de la ecología es una naturaleza compleja y desbordante únicamente tratable como sistema de relaciones, que en última instancia exige un compromiso ético de la investigación y la actividad humana con el derecho a la existencia de todos los seres vivos: “La conservación no está llegando a ningún lado porque es incompatible con nuestro concepto de la tierra, que es el mismo del patriarca Abraham. Abusamos de la tierra porque la consideramos como un bien que nos pertenece. Cuando veamos la tierra como una comunidad a la cual pertenecemos, empezaremos a utilizarla con amor y respeto. No hay ninguna otra forma de que la tierra sobreviva al choque con el hombre mecanizado, ni de que nosotros recojamos de ella la cosecha estética que es capaz, gracias a la ciencia, de aportar a la cultura. Que la tierra es una comunidad es el concepto básico de la ecología, pero que hay que respetar y amar a la tierra es una extensión de la ética. Que la tierra rinde una cosecha cultural es hecho conocido desde hace mucho pero últimamente olvidado con frecuencia”, LEOPOLD, Aldo (1949): *Sand County Almanac*, citado en BOWLER (1998): *Historia Fontana...*, op. cit., p. 378.

¹³ La problemática ecológica en España se desencadenó sobre todo en los años 80, pero cuenta con antecedentes importantes durante el franquismo: cfr. COSTA MORATA, Pedro (1985): *Hacia la destrucción ecológica de España*, Barcelona, Grijalbo, pp. 171-200. Los años 70 ven igualmente el desarrollo de propuestas alternativas para el desarrollo de los países del Tercer Mundo que eviten un desarrollo al estilo europeo desenfrenado e inconsciente. Es el caso del modelo de desarrollo económico del economista Fritz Schumacher; vease, SCHUMACHER, E. F. (1978): *Lo pequeño es hermoso*, Madrid, H. Blume.

inacabada y cambiante. Es por ello, tal vez, que sea la ecología la ciencia con los mayores desafíos del siglo XXI, porque un cambio en la imagen de la naturaleza desencadena necesariamente un cambio en la relación del hombre con su entorno. En este confuso panorama de compromisos, movilizaciones sociales y de estudios sistemáticos globales de las relaciones entre los seres vivos –seres humanos incluidos- y su entorno podemos situar el alcance de una de las últimas propuestas de la nueva biología: la hipótesis Gaia de James E. Lovelock y Lynn Margulis.

III. La hipótesis Gaia

Hasta la década de 1960, la naturaleza había sido estudiada desde su mismo interior. Su dimensión –en su sentido más genérico- había sido por tanto una cuestión de cálculo y de imaginación. Los modelos globales de la naturaleza eran similares a los que un botánico podía elaborar de las selvas amazónicas a partir de la catalogación de las especies de su interior. Pero del mismo modo que el desarrollo de la aviación permitió al botánico contrastar su imaginación con las imágenes aéreas de las selvas tropicales, el desarrollo de la carrera espacial ha aportado a los ecólogos un amplio abanico de resultados y posibilidades insospechadas. La hipótesis Gaia es desde el principio un resultado directo de las posibilidades abiertas al estudio planetario comparativo, hasta el punto de que la nueva concepción de la vida sobre la Tierra que pretende sugerir tuvo su nacimiento en la búsqueda de criterios para el reconocimiento de la vida en otros planetas del Sistema Solar. Los elementos fundamentales de esta nueva visión son los criterios cibernéticos de autorregulación y retroalimentación entre los diferentes sistemas de la biosfera, la atmósfera, los océanos y el suelo terrestre, puestos de relieve por la acumulación de información acerca de las proporciones de determinados componentes atmosféricos recogidas en sucesivos periplos espaciales. Se trata, como podremos ver, de un importante proyecto global de estudio biogeoquímico de la interacción entre los componentes orgánicos e inorgánicos a nivel planetario, un paso más allá de los habituales criterios que pueden derivarse del equilibrio termodinámico esperado entre los diversos componentes y sustancias que constituyen las atmósferas planetarias.

III. 1. Antecedentes de una nueva perspectiva.

James E. Lovelock presentó la nueva hipótesis en unas jornadas científicas celebradas en Princeton, New Jersey, en 1969. Era el principal resultado teórico de su colaboración, desde 1965, con Dion Hitchcock en el *Jet Propulsion Laboratory* de Pasadena, California, para un proyecto de la NASA destinado al diseño de dispositivos que permitieran la identificación de vida en Marte a partir de un rastro químico en su suelo o en los componentes gaseosos de su atmósfera. El propio Lovelock expone de la siguiente forma los razonamientos preliminares que guiaron su trabajo en dicho proyecto aeroespacial:

“El razonamiento es el siguiente: tenemos abundancia de oxígeno, el 21 % de la atmósfera, y un indicio de metano, 1,5 partes por millón. Sabemos por la química que el metano y el oxígeno reaccionan cuando son iluminados por la luz del sol, y también la velocidad de dicha reacción. Con esta información, podemos concluir con seguridad que la coexistencia de los dos gases reactivos, metano y oxígeno, en un nivel constante, requiere un flujo de metano de 1.000 megatoneladas al año. Ésta es la cantidad necesaria para reponer las pérdidas por oxidación. Además, también tiene que haber un flujo de 4.000 megatoneladas de oxígeno por año, porque ésta es la cantidad que se requiere para oxidar el metano. No existe ninguna reacción conocida

por la química que pueda fabricar estas enormes cantidades de metano y oxígeno empezando sólo con las materias disponibles, agua y bióxido de carbono, y utilizando la energía solar. Por lo tanto, debe de haber algún proceso en la superficie de la Tierra que pueda ordenar la secuencia de intermediarios inestables y reactivos de un modo programado para lograr este fin. Probablemente este proceso sea la vida".¹⁴

El razonamiento plantea la posibilidad de que la configuración estable de la atmósfera planetaria sea un resultado directo de la actividad vital de los organismos de la superficie terrestre. Se empezaba a dibujar de este modo una imagen planetaria que establecía relaciones determinantes entre el desarrollo de la vida y la configuración del entorno a un nivel demasiado amplio. La naturaleza ya no aparecía como un recipiente geológico –definido por su estabilidad a lo largo de grandes períodos– que acogía maravillosamente el desarrollo y adaptación de las especies. En cierto modo, se produce una fractura y disolución del concepto de naturaleza en favor de una interrelación compleja de diversos sistemas a nivel planetario. Se trata sin duda de un nuevo concepto difícil de enmarcar en el desarrollo de las ciencias biológicas, y la ecología, la ciencia más capacitada para abordar el estudio y alcance de estas relaciones, parece estar desbordada. Es quizá por eso que Lovelock, desde el principio, defendiera la interdisciplinariedad necesaria para abordar las implicaciones de su propuesta.

Sin embargo, el propio Lovelock señala el lugar de su hipótesis en la historia de la ecología: localiza sus antecedentes en los trabajos de James Hutton, Yevgraf M. Korolenko, y Vladimir I. Vernadsky, principalmente, y en las sugerencias de Alfred Lotka, Arthur Redfield, J. Z. Young, G. E. Hutchinson y Lars Sillen.¹⁵ Aunque Lovelock no lo menciona expresamente, su hipótesis se inserta igualmente en el organicismo clásico de ecólogos como Frederick E. Clements, y descansa en las posibilidades heurísticas de una metáfora científica que nunca ha sido fácilmente manejada. El tono general de su primera obra divulgadora tampoco favoreció demasiado la aceptación académica de una hipótesis que se considera continuadora de una perspectiva con antecedentes escasamente valorados por sus colegas investigadores.¹⁶ Lovelock

¹⁴ LOVELOCK, James E. (1989): "Gaia. Un modelo para la dinámica planetaria y celular", en VV.AA. (1989): *Gaia. Implicaciones de la nueva biología*, Barcelona, Kairós, pp. 83-84.

¹⁵ LOVELOCK, James E. (1993): *Las edades de Gaia. Una biografía de nuestro planeta vivo*, Barcelona, Tusquets, pp. 23-28. Sobre la aportación, en este sentido, de Alfred Lotka, véase LOVELOCK, James E. (1992): "L'ipotesi Gaia", en BUNYARD, Peter & GOLDSMITH, Edward (Ed.) (1992): *L'ipotesi Gaia. La terra come organismo vivente...*, op. cit., pp. 69-76.

¹⁶ La generalizada amenidad de la primera obra de Lovelock publicada en 1979 –*Gaia. Una nueva visión de la vida sobre la tierra* (1983), Madrid, H. Blume-, y el abundante uso de cualidades antropomórficas al referirse a su nueva metáfora, desencadenó un rechazo general en el mundo académico. Las publicaciones más prestigiosas como *Science* o *Nature* se negaron a publicar, durante mucho tiempo, artículos al respecto. Las críticas más aceradas fueron sin duda las expresadas desde la biología evolutiva. La perspectiva discreta y discontinua introducida por la genética mendeliana en la Teoría Sintética de la evolución darwinista combinada poderosamente con la genética de poblaciones para establecer los mecanismos de actuación de la selección natural en el seno de las poblaciones animales y vegetales, encuentra difícil desplegar la dinámica evolutiva selectiva en el seno de sistemas tan complejos como el que caracteriza a la hipótesis Gaia. En este sentido, las críticas de evolucionistas como W. Ford Doolittle sólo alcanzan a apuntar argumentos sostenibles desde su misma disciplina: "Lo bueno del cautivador librito de Jim Lovelock es que la lectura transmite una sensación cálida y reconfortante de la naturaleza y el lugar del hombre dentro de ella. Lo malo es que esta sensación se basa en una idea de la selección natural... que es indudablemente falsa", citado en BOWLER (1998): *Historia Fontana...*, op. cit., p. 400. Lovelock acoge estas críticas en LOVELOCK (1989): "Gaia...", en VV.AA. (1989): *Gaia. Implicaciones...*, op. cit., pp. 90-91; y LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., p. 45. La integración de

insiste en casi todas sus comunicaciones escritas en el carácter metafórico y estimulador para la investigación como el elemento principal de la hipótesis Gaia:

“Concepisco Gaia come una metafora scientifica, e parlando come scienziato preferirei occuparmi di argomenti che definisco trattabili. Dai concetti ineffabili, come la domanda se l’Universo sia vivo, non è possibile venire a cap”.¹⁷

Sea o no sea bien acogido, lo que sí resulta claro es que el concepto de Gaia, como “organismo” o sistema autorregulado, está enteramente vinculado con la redefinición del concepto de vida. La familiaridad de este último concepto no es precisamente una garantía de su mayor claridad y precisión, y la microbiología –y de un modo mucho más abstracto, la termodinámica de los procesos irreversibles-, ya ha señalado en numerosas ocasiones los inconvenientes y matices que se establecen en cualquier definición del término.¹⁸ En cualquier caso, la definición de Gaia está perfectamente implicada y sugerida en la exposición misma de la hipótesis que lleva su nombre:

“La hipótesis Gaia, cuando la expusimos en los años setenta, suponía que la atmósfera, los océanos, el clima y la corteza de la Tierra se encuentran ajustados a un estado adecuado para la vida por el comportamiento de los mismos organismos vivos. Concretamente, la hipótesis de Gaia dice que la temperatura, el estado de oxidación, de acidez y algunos aspectos de las rocas y las aguas se mantienen constantes en cualquier época, y que esta homeostasis se obtiene por procesos cibernéticos llevados a cabo de manera automática e inconsciente por el biota. La energía solar sustenta estas condiciones favorables para la vida. Estas condiciones son sólo constantes a corto plazo y evolucionan en sincronía con los cambios requeridos por el biota a lo largo de su evolución. La vida y su entorno están tan íntimamente asociados que la evolución afecta a Gaia, no a los organismos o al medio ambiente por separado”.¹⁹

Gaia en un proceso evolutivo a nivel global y, sobre todo, el rechazo de caracterizaciones fáciles y ambiguas de la perspectiva organicista que subyace en la hipótesis son el primer reto de la nueva propuesta de Lovelock.

¹⁷ LOVELOCK, (1992): “L’ipotesi Gaia”, en BUNYARD, Peter & GOLDSMITH, Edward (Ed.)(1992): *L’ipotesi Gaia. La terra come organismo viviente*, op. cit., pp. 77-78. En otro lugar señala: “Para algunas ciencias las ideas gaianas son adecuadas, incluso cuando no son bienvenidas, porque la visión del mundo a través de viejas teorías ya no es definida y clara. Ello es especialmente cierto para la ecología teórica, la biología evolutiva y, en general, las ciencias de la Tierra”, LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., p. 26. En relación con el papel de las metáforas en el cambio de teorías científicas puede verse FERNANDEZ BUEY, Francisco (1991): *La ilusión del método*, Barcelona, Crítica, pp. 152-179.

¹⁸ Los problemas presentes a la hora de proponer definiciones del concepto de vida son tratados en LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., pp. 29-55. En otro lugar, Lovelock resume el problema en los siguientes términos: “De momento, no existe ninguna descripción física formal de la vida en sí misma, y puede ser que se necesite este mismo formalismo para demostrar Gaia”, LOVELOCK (1989): “Gaia. Un modelo para la dinámica planetaria y celular”, en VV.AA. (1989): *Gaia. Implicaciones...*, op. cit., p. 87. La microbióloga Lynn Margulis, colaboradora de Lovelock, presenta algunos nuevos elementos en relación con los orígenes de la vida desde la perspectiva de la hipótesis Gaia en el ensayo: MARGULIS, Lynn (1989): “La vida temprana. Los microbios tienen prioridad”, en VV.AA. (1989): *Gaia. Implicaciones...*, op. cit., pp. 95-106.

¹⁹ LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., p. 33. El texto deja en todo caso bastante clara la diferenciación de Gaia respecto de los conceptos manejados por la ecología – ecosistema, biota, biosfera, etc.-

III. 2. Bases para una homeostasis planetaria

De la primaria exposición que se ha hecho de la hipótesis Gaia resulta evidente la importancia que la historia del clima terrestre presenta para el desarrollo de las nuevas ideas globales en biología. La hipótesis como tal es insertada por el propio Lovelock más allá de la ecología, en lo que denomina una geofisiología, señalando la importancia de la interdisciplinariedad y la cooperación de las diferentes disciplinas científicas en el nuevo proyecto. Del estudio de la composición dinámica de las atmósferas planetarias es posible establecer una redefinición del equilibrio en la naturaleza que trasciende en gran medida las ideas deistas y románticas que tan a menudo surgen en la historia de la ecología. El primer rasgo de la atmósfera terrestre es su carácter de alta acidez y elevada capacidad de oxidación. Hablamos de una atmósfera muy inusual en el Sistema Solar formada por gases oxidantes –oxígeno y dióxido de carbono-, gases neutros –nitrógeno y monóxido de carbono-, y gases reductores –hidrógeno, metano y amoníaco-, que interaccionan entre sí en procesos muy enérgicos. Se trata por tanto de una atmósfera altamente inestable desde el punto de vista químico. En contraste, planetas como Venus y Marte están rodeados por una atmósfera esencialmente oxidante pero en situación de equilibrio químico final. Ambos parecen haber agotado las posibilidades generativas de compuestos orgánicos básicos para el desarrollo de la vida. Por su parte, Júpiter y Saturno poseen atmósferas altamente reductoras pero estables. La hipótesis Gaia sugiere que la vida sólo pudo originarse en atmósferas reductoras –ricas en hidrógeno, metano y amoníaco- que por alguna razón física perdieron su estabilidad durante un considerable periodo de tiempo.

La situación de la atmósfera terrestre es por tanto una situación de desequilibrio químico que trasciende en una “estabilidad” de otro orden. El análisis cibernético de la evolución atmosférica terrestre permite sospechar que el desarrollo de la vida “*habría tenido los días contados si el suministro de hidrógeno (incorporado a compuestos tales como amoníaco y metano) hubiera dependido sólo de los gases escapados del interior del planeta, incapaces de reponer las pérdidas indefinidamente. Estos gases, además, cumplían otra misión fundamental, la de ‘arropar’ nuestro planeta manteniendo su temperatura en una época en la que, probablemente, la radiación solar era inferior a la actual*”.²⁰ Es importante pues tener presente que sólo en un estado de desequilibrio físico-químico es posible, en principio, obtener algún tipo de rendimiento energético. En el equilibrio no hay diferencias, ni gradientes, ni potenciales; la ausencia de cambios impide la liberación –el intercambio- de energía. En este sentido la naturaleza, evidentemente, no puede ser considerada como un sistema en equilibrio.

La perspectiva circular implícita en los análisis cibernéticos de sistemas autorregulados alcanza a definir otra forma de equilibrio o estabilidad. Los sistemas cibernéticos permiten aceptar un criterio de estabilidad desde la autorregulación que suponga una transgresión continuada del equilibrio químico, al menos, temporalmente. Esta estabilidad cíclica y temporal exige necesariamente el aporte constante de componentes –materiales y energéticos- en el sistema, y en el caso de la hipótesis

²⁰ LOVELOCK (1979): *Gaia. Una nueva visión...*, op. cit., p. 33. Y más adelante señala: “*Sagan y Mullen han propuesto que quizá fuera la biosfera la encargada de mantener el status quo climatológico aprendiendo a sintetizar y a reemplazar el amoníaco que utilizaba como nutriente. Si están en lo cierto, tal síntesis hubiera sido la primera tarea de Gaia. Los climas son intrínsecamente inestables; tenemos ahora la casi total certeza gracias al meteorólogo yugoeslavo Mihalanovich de que los periodos de glaciación recientes fueron consecuencia de cambios muy leves experimentados por la órbita de la Tierra*”, *ibidem.*, p. 38. Lars Sillen fue el primero en calcular los resultados que cabría esperar si la atmósfera terrestre alcanzara el equilibrio termodinámico: cfr. *ibidem.*, pp. 50-53.

Gaia supone la implicación de la biosfera, la atmósfera, el suelo y los océanos en los mecanismos globales de regulación. El papel de estos últimos es fundamental como podría esperarse en un planeta con una forma de vida que depende en más del 95 % del agua. Es precisamente en los océanos donde se acumulan más rastros de la interacción de los organismos en el sostenimiento de las condiciones ideales para la vida. Por ejemplo, el control de la salinidad, la presencia de fosfatos y nitratos, o la fijación del silicio, son procesos que implican un complejo entramado de corrientes oceánicas y sistemas de circulación en los que intervienen los seres vivos que habitan en las grandes plataformas continentales oceánicas.²¹

En suma, nuestra imagen de la naturaleza queda un tanto desdibujada; la complejidad de las relaciones entre los diferentes componentes sistémicos de Gaia es tal que la naturaleza parece haber perdido su unidad conceptual. En su lugar sólo nos quedan sospechas de diferente alcance que permiten rastrear contactos entre la biosfera y la atmósfera, entre los continentes y los océanos, mediatizados por la actividad directa de los organismos en una especie de desarrollo acoplado a escala global con el sostenimiento de unas condiciones reflejadas en propiedades físicas coligativas, que parecen apuntar hacia un estado de homeostasis planetaria:

*“La crítica más convincente a la teoría de Gaia plantea que el concepto de homeostasis planetaria, por y para los organismos vivos, es imposible porque requiere la evolución de algún tipo de comunicación entre las especies, además de una capacidad de previsión y planeamiento. Los autores de esta crítica desafiante, y para mí útil, no tienen en cuenta la evidencia empírica de que la Tierra ha mantenido un clima favorable para la vida a pesar de las mayores perturbaciones, o que la atmósfera tiene una composición estable a pesar de la incompatibilidad química de sus gases componentes... Pienso que esta crítica es dogmática, y... fácilmente rebatible. El modelo simple del mundo de las margaritas ilustra cómo podría funcionar Gaia. Partíamos de un mundo imaginario que gira como la Tierra y que es calentado por una estrella gemela a nuestro Sol durante su movimiento orbital. En este mundo, la competición por el territorio de dos especies de margaritas, una oscura y la otra clara, da lugar a una regulación exacta de la temperatura planetaria en el nivel apropiado para el desarrollo de estas plantas. No es necesaria ninguna previsión, ni planificación, ni propósito preestablecido. El mundo de las margaritas es una aproximación teórica a un planeta en homeostasis. Ahora podemos empezar a pensar en Gaia como una teoría, algo más que el simple ‘supongamos’ de una hipótesis”.*²²

III. 3. ¿Hipótesis, modelo o teoría?

En los últimos años, Lovelock y sus diversos colaboradores han desarrollado varios modelos matemáticos de “mundo de las margaritas” con mayor complejidad e interacción. Con estos nuevos recursos, el estudio cibernético de sistemas naturales complejos ha hecho posible un importante desarrollo de la hipótesis inicial hasta el punto de permitir configurar una teoría natural de Gaia que se despliega a través de diversos mecanismos de regulación biológica. Las críticas principales planteadas por la ecología teórica y la biología evolutiva giraban en torno al componente desestabilizador de la competencia entre especies en el seno de un sistema de

²¹ El problema de la salinidad de los océanos es sin duda uno de los principales puntos de desarrollo para la hipótesis Gaia. Si la salinidad de los océanos permanece en su conjunto constante, y tan sólo se recurre a mecanismos geológicos para establecer el ciclo general del NaCl entre los océanos y los continentes, el resultado hubiera sido un rastro de continuo aumento de la salinidad en los mares. Cfr. Ibidem. pp. 103-125.

²² LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., pp. 59-60.

regulación que centra su estudio en la estabilidad de complejos sistemas como el clima, la temperatura de los océanos o la composición atmosférica. Los diferentes modelos de “mundo de las margaritas” ponen de manifiesto que el crecimiento de las diferentes especies no puede ser incontrolado; de ser así, el ambiente se vuelve desfavorable y se termina agotando las posibilidades de crecimiento.

En este sentido, cabría preguntarse como afectaría la introducción de las cadenas tróficas en un mundo hipotético de estas características configurado para evaluar las implicaciones del desarrollo de los organismos en la evolución de las condiciones climáticas y atmosféricas. Lovelock señala al respecto:

*“Interesado en ver si estas interpretaciones eran correctas construí un mundo de margaritas adicional. En éste, las margaritas eran comidas por conejos y los conejos a su vez eran comidos por zorros, una combinación del modelo de Lotka y Volterra con el mundo de las margaritas. Para evaluar la estabilidad de este modelo más complejo lo sometí a catástrofes periódicas; en cuatro ocasiones durante la evolución del modelo, el 30 % de la población de margaritas fue destruida inmediatamente, como por una epidemia, y el sistema permitió que se recuperaran. Sorprendentemente, ni la adición de herbívoros ni las plagas afectan seriamente a la capacidad de las margaritas para regular el clima. Durante el curso normal de la evolución todas las poblaciones son estables y se recuperan pronto de las perturbaciones de las epidemias. Finalmente, el sistema ya no puede compensar el siempre creciente flujo de energía solar y se pierde. Como es de esperar, cuanto más cerca se encuentra del final más grande es el efecto de las perturbaciones”.*²³

La interpretación de las perturbaciones es el principal punto de alejamiento entre la ecología teórica y la geofisiología de Gaia. Desde el punto de vista de esta última, la hipotética perturbación catastrófica que podría afectar a la temperatura, a la humedad o a la aportación de nutrientes, es una posibilidad implícita en todos aquellos sistemas constituidos por un amplio abanico de variables interrelacionadas. El sistema en su conjunto demuestra estar capacitado para afrontar cambios de esta naturaleza dentro de los límites que establece su interdependencia con el papel estabilizador de los organismos vivos que se desarrollan en su interior. Un “mundo de margaritas” en el que desaparecen catastróficamente todas las margaritas se transforma con celeridad en un mundo termodinámicamente estable e inerte. Esto nos alerta ante la ingenuidad que muchos han pretendido ver en el optimismo ecológico de la hipótesis Gaia.

Por otra parte, todos los modelos de “mundo de las margaritas” han mostrado que el Sol aumenta progresivamente su producción de calor hasta que las posibilidades de vida se disuelven en una muerte térmica. Sin embargo, hasta que se alcance este punto infranqueable, las perturbaciones que afectan al sistema global no consiguen vencer una tendencia a evitar desplazamientos muy alejados del punto óptimo que existía antes del cambio. Pero este proceso de autorregulación exige realimentación positiva e implica un crecimiento anormal de las especies que contribuyen más favorablemente en el sostenimiento del clima favorable. Este hecho apunta una interesante novedad en la relación que Gaia presenta con el proceso evolutivo de los organismos vivos. Desde el punto de vista de las capacidades homeostáticas del sistema en su conjunto, una situación marcada por la incidencia de una perturbación puede contemplarse como un aumento de la presión de selección sobre los organismos vivos más favorables en el sostenimiento del punto óptimo de las condiciones favorables para la vida. El resultado es un proceso de mutación y posibilidad de cambio evolutivo de carácter explosivo que podría converger

²³ Ibidem. p. 67.

adecuadamente con el modelo evolutivo de saltos puntuados propuesto en la década de 1970 por Stephen Jay Gould y Niles Eldredge.²⁴

Desde la perspectiva abierta por Gaia, el proceso evolutivo de los organismos se produce conjuntamente con su medio ambiente físico y químico. La teoría de Gaia expresaría una alternancia, a lo largo de las épocas geológicas, de periodos más o menos largos de homeostasis –en donde se llevaría a cabo el despliegue evolutivo darwiniano definido por la selección natural de factores y su distribución progresiva y adaptada en el seno de las poblaciones-, con momentos relativamente breves definidos por cambios súbitos y explosivos de generación de nuevas formas vivas y una gran presión selectiva sobre las especies más favorables para la recuperación del equilibrio homeostático. Gaia como teoría tiene todavía un largo camino que recorrer –sobre todo de refinamiento conceptual y caracterización de procesos globales-, pero en sus escasas dos décadas de desarrollo ha permitido, en cualquier caso, poner de manifiesto con abundantes modelos que la estabilidad, medida como capacidad para regular el clima, está directamente correlacionada con la diversidad de los organismos vivos.

La teoría de Gaia transforma radicalmente las imágenes de la naturaleza como ente individual y externo que nos hemos ido forjando ideológicamente a lo largo de los siglos. Como indica Lovelock, se trata de una teoría que conlleva una nueva visión de la Tierra:

- La vida es un fenómeno a escala planetaria.
- La naturaleza no es separable de los organismos, porque la vida no puede desarrollarse ocupando un planeta parcialmente.
- El proceso evolutivo no puede olvidar que el desarrollo de un organismo afecta igualmente a su medio ambiente físico y químico de un modo global.
- La diversidad de especies contribuye enormemente a la regulación de las condiciones favorables para el desarrollo de la vida.²⁵

IV. Gaia, sus implicaciones y límites

El desarrollo teórico de la hipótesis Gaia nos muestra una nueva imagen de la naturaleza que en gran medida desborda las ideas que de ella se ha forjado el ser humano a lo largo de los siglos. La nueva imagen de la naturaleza no es ni ideal ni mecánica, sino relacional y compleja; no acoge a la vida sino que constituye una parte inseparable de ella. Desde la relación hombre-naturaleza, la naturaleza es frágil pero, en ningún caso, débil e indefensa. En gran medida es un jardín que los organismos

²⁴ Un interesante ejemplo de “evolución explosiva” podría estar reflejado en las peculiares características de la fauna que habitó las Montañas Rocosas durante el Cámbrico –hace unos 530 millones de años-, descubierta en 1909 por Charles Doolittle Walcott en Burgess Shale. Véase al respecto GOULD, S. J. (1991): *La vida maravillosa*, Barcelona, Crítica.

²⁵ LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., p. 78. La perspectiva de Lovelock tampoco oculta una importante herencia victoriana –no en vano, el propio Lovelock se define a sí mismo como “un inglés típico”-, en relación sobre todo con la importancia fundamental del organismo: “*como en una metáfora, Gaia acentúa fundamentalmente la importancia del organismo individual. Siempre es como consecuencia de la acción de individuos que evolucionan potentes sistemas locales, regionales y globales. Cuando la actividad de un organismo favorece el medio ambiente al mismo tiempo que el mismo organismo, entonces se extiende y es favorecida y finalmente el organismo y el cambio ambiental asociado a él adquirirán una extensión global. También es cierto a la inversa, y cualquier especie que afecta al medio ambiente de forma dañina es condenada, aunque la vida continúe*”, ibidem. p. 251. Polémica extensión, sin duda, del principio de selección natural darwiniana.

vivos han ido construyendo y sosteniendo por sí mismos como una parte inseparable de su desarrollo. En términos cibernéticos es un sistema de bucle cerrado sin puntos fijos de control, pero sus estados no están predeterminados ni persiguen una finalidad explícita. Pero como señala Gernot Böhme, nuestro problema tiene otro origen y otras implicaciones:

*“Nuestro problema radica en que la naturaleza que realmente nos importa, o sea, la naturaleza en la superficie de la Tierra, la naturaleza bajo el cielo (como antes se solía decir), la naturaleza en su estado actual, en su desarrollo, en sus procesos cíclicos, ya no puede pensarse sin la presencia del hombre. La naturaleza que nos interesa específicamente es ya un producto social, una naturaleza antropogénica, una naturaleza que se determina conjuntamente con el factor humano. Y el hombre, que aquí aparece como un factor natural, no sólo es naturaleza; el hombre no se comporta sencillamente de manera natural, sino que lo hace en gran medida ateniéndose a normas, a reglas, según las circunstancias, las leyes, las máximas de la economía o las intenciones del consumo. El hombre no es simplemente un factor natural, aunque se lo considere como tal en los sistemas naturales que nos interesan. Por lo tanto, existe aquí un gran déficit: la ciencia actual no se ocupa de la naturaleza que es relevante para el problema del medio ambiente”.*²⁶

Lovelock, por su parte, ha expresado esta inquietud, a menudo, en aquellos casos en los que ha desarrollado las posibles implicaciones de compromiso de la geofisiología con el mundo contemporáneo. Tanto en su presentación inicial como hipótesis, como en su última exposición como teoría, los problemas ecológicos del planeta han sido parte integrante de los intereses de la geofisiología: el aumento de la concentración del dióxido de carbono en la atmósfera, la lluvia ácida, la ozonemia o los efectos de la radiación nuclear, constituyen problemas reales a los que se enfrenta Gaia en su actividad reguladora. En este sentido, Lovelock presenta la situación de las ciencias biológicas ante los inminentes desafíos del medio ambiente a través de su paralelismo con la actitud de la medicina pre-paracelsiana: como ocurrió con aquellos médicos, el único modo de conocer el alcance de la enfermedad era esperar a que se consumara la totalidad del proceso. Para los ecólogos el único modo de conocer los verdaderos efectos de la intervención humana sobre la biosfera es esperar a que se produzcan sus devastadores resultados.

*“Tenemos algunos criterios provenientes de la geofisiología, que nos recuerda que la Tierra es un sistema activo y reactivo y no sólo una esfera de roca húmeda y nebulosa. Los sistemas en homeostasis compensan las perturbaciones y trabajan para mantenerse en un estado adecuado. Quizá si la dejásemos a su aire Gaia podría absorber el exceso de calor y dióxido de carbono que le llega. Sin embargo, no se deja a Gaia actuar por sí sola; además de los incrementos de dióxido de carbono también estamos ocupados eliminando una parte de la vida vegetal, las selvas y los bosques, que mediante una respuesta de crecimiento extra podrían contrarrestar el cambio”.*²⁷

La actitud de Lovelock ante los problemas de las sociedades industrializadas contemporáneas ha experimentado, sin duda, cierta evolución desde que expusiera su hipótesis en los años 70, pero nunca ha dejado de lado la vinculación de la labor

²⁶ BÖHME, Gernot (1997): “Perspectivas de una filosofía de la naturaleza de orientación ecológica”, en FISCHER, H.R., RETZER, A. & SCHWEIZER, J. (Comp.)(1991): *El final de los grandes proyectos*, Barcelona, Gedisa, pp. 71-72.

²⁷ LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., p. 173.

autorreguladora de Gaia con las alteraciones humanas del medio.²⁸ Nuestras relaciones con el “paisaje” natural son relaciones de colaboración, pero también de tensión y de ruptura. La humanidad y la naturaleza han evolucionado conjuntamente originando un sistema caracterizado por una rica diversidad de especies que se enfrenta a continuas amenazas. Para muchos ecólogos está resultando cada vez más incuestionable el hecho de que ninguna actividad humana está insertada en el ámbito de la neutralidad. Las ciencias tampoco pueden ya vanagloriarse de esa salvadora característica. Hemos de convencernos de que la actividad manipuladora representa a la ciencia en su misma esencia, y que como sujetos morales no nos queda más remedio que la reflexión y la búsqueda de criterios morales de comportamiento. Las ciencias ambientales han puesto de manifiesto, en las últimas décadas, un importante desafío ecológico que está en dependencia directa con la profundidad que pueda alcanzar nuestro conocimiento de nuestro propio planeta. Como nos recuerda Lovelock de forma concluyente:

*“Si es cierto que la teoría de Gaia proporciona una descripción bastante ajustada del sistema operativo de la Tierra, entonces con toda seguridad hemos estado visitando a los especialistas equivocados para el diagnóstico y la cura de nuestros males globales. Hay algunas preguntas que tienen que ser contestadas: ¿Hasta qué punto es estable el sistema presente? ¿Qué puede perturbarlo? ¿Se pueden invertir los efectos de una perturbación? Sin los ecosistemas naturales en su forma presente ¿puede el mundo mantener su clima y su composición? Todas estas preguntas se encuentran dentro del dominio de la geofisiología”.*²⁹

El alcance de Gaia para la evaluación y resolución de los problemas ambientales actuales está desarrollándose en sus primeras etapas. Nuestro conocimiento de los procesos de autorregulación es todavía precario y no alcanza más que a sugerir la importancia de los problemas ecológicos que, por otras vías, ya suponíamos acuciantes.³⁰ Respecto a la relación hombre-naturaleza a la nueva luz de la cegadora labor planetaria de Gaia, la naturaleza necesita y promueve implicaciones globales, tanto al nivel del conocimiento como al nivel de la actividad humana.

²⁸ En su obra de 1979 señalaba: “Nuestra zozobra sobre el futuro del planeta y las consecuencias de la contaminación proviene fundamentalmente de nuestra ignorancia sobre los sistemas de control planetario”, LOVELOCK (1983): *Gaia. Una nueva visión...*, op. cit., p. 138.

²⁹ LOVELOCK (1993): *Las edades de Gaia...*, op. cit., pp. 196-197.

³⁰ Desde la perspectiva que enmarca la autorregulación de Gaia, algunos problemas implícitos en las sociedades industriales se encuentran tratados en el ensayo de BUNYARD, Peter (1992): “Gaia: le sue implicazioni per la società industrializzata”, en BUNYARD, Peter & GOLDSMITH, Edward (Ed.)(1992): *L'ipotesi Gaia. La terra come organismo viviente...*, op. cit., pp. 330-360. Entre las consideraciones generales que comparte el estudio de Gaia con las inquietudes de los movimientos ecologistas se pueden citar las siguientes palabras de Bunyard: “La triste verità è che gli ecosistemi sono sconvolti ovunque intorno a noi ci soffermiamo a osservare. L'ipotesi Gaia ci ha fatto capire che la vita sul pianeta fa parte di un sistema unificato, l'ecosfera, che quando è sufficientemente disturbato deve inevitabilmente assumere un nuovo stato di esistenza. Se accettiamo l'idea di Gaia, dobbiamo anche accettare che la vita sulla Terra, attraverso il processo evolutivo, ha mirato a rendere ottimali le condizioni esistenti e a regolare i fenomeni fisici in modo che essi, a loro volta, siano il più favorevoli possibile alla vita. La nostra specie è l'unica che sta mettendo in pericolo tali condizioni, con ciò mettendo inevitabilmente in pericolo la sua stessa sopravvivenza”, ibidem., p. 255.

V. Conclusiones

Si algo puede considerarse como modesto resultado de nuestro estudio es la completa imposibilidad de caracterizar a la naturaleza según alguna de las imágenes tradicionales. En nuestro examen de la hipótesis Gaia –casi teoría, si cumple con las expectativas iniciales-, hemos intentado rastrear algunos de los problemas que se ponen de manifiesto con el uso de los conceptos habituales de la ecología, al pretender establecer las implicaciones teóricas de una investigación actual de la “naturaleza” desde la perspectiva de la complejidad. Gaia, como propuesta teórica, trasciende la mayor parte de los conceptos desarrollados desde la perspectiva de una naturaleza externa y controlable bajo el paradigma del equilibrio y la estabilidad fisico-química. La propuesta de Lovelock tiene amplias expectativas en el seno de la termodinámica de los procesos irreversibles, donde *“el estado de equilibrio, que tradicionalmente se había considerado como la figura misma del gran número, se define ahora como un estado singular en el que las correlaciones son de alcance e intensidad nulos, es decir, en las que los diversos procesos locales no se relacionan entre sí. Lejos del equilibrio surgen las correlaciones, que nos obligan a modificar nuestros conceptos de lo que significa ‘estar juntos’, incluso para las moléculas, esto es, a transformar nuestros modos de representación del nivel macroscópico y nuestros criterios de selección sobre lo que tiene o no significación”*.³¹

La propia ciencia necesita de una nueva parcela para desarrollar esta nueva investigación global de sistemas complejos, no definidos por el equilibrio o la estabilidad, sino por la regulación mutua e intrínseca según mecanismos que todavía no se alcanzan a desarrollar plenamente. El horizonte fisico-químico y termodinámico únicamente revela las relaciones primarias entre propiedades aisladas o constitutivas de los pequeños sistemas resultantes de la fragmentación de Gaia, con el dilema inherente de que la suma de estos resultados parciales no alcanza a definir mínimamente el conjunto organizado del que provienen. Lovelock hace uso de numerosas metáforas porque carece de otros recursos de mayor precisión, pero también porque la metáfora es la única vía de acomodar el lenguaje a la estructura causal del mundo. La geofisiología definida por Lovelock continúa con las metáforas y se transforma en una “medicina planetaria” que aborda las relaciones internas del hombre con su entorno desde la perspectiva global de sus interrelaciones con los múltiples sistemas parciales que constituyen la visión fragmentada que la ciencia actual alcanza a caracterizar en la naturaleza.³²

Desde la ecología se ha despertado del sueño de Descartes y se intenta reformular la nueva perspectiva desde la potencialidad implícita en el concepto de biosfera:

“La cuestión básica que resta tiene que ver con la respuesta al dilema de si la vida ha funcionado o no siguiendo ‘la tendencia a optimizar las condiciones para la totalidad de la vida terrestre’. La pregunta puede entenderse mejor en términos de funciones inherentes a la vida y de aspectos no vivos del medio ambiente a la hora de determinar las condiciones de la biosfera. Si es función de la vida amortiguar los

³¹ PRIGOGINE, Ilya & STENGERS, Isabelle (1997): *La nueva alianza. Metamorfosis de la ciencia*, Madrid, Alianza Editorial, pp. 348-349.

³² La nueva metáfora de la naturaleza que se perfila para el siglo XXI puede transformar profundamente mucho más que nuestra interrelación con la biosfera. Un ejemplo es el reciente artículo de James E. Lovelock en *The Independent* que ha levantado severas críticas desde el ecologismo y las asociaciones contra la energía nuclear por su defensa de esta forma de energía como alternativa para luchar contra las consecuencias del efecto invernadero. Puede verse una traducción española: “La energía nuclear es la única solución ecológica” en *El País*, 20 de junio de 2004.

*cambios que podrían haber ocurrido si ella misma no hubiera evolucionado, y si tales cambios hubieran conducido a un medio ambiente no adecuado al margen que puede sostener la vida, entonces podría decirse que la vida ha tendido a promover su propia continuidad. La evidencia geológica, tal como la describió Westbroek, sugiere que la vida ha funcionado de este modo sobre un fondo de cambios ambientales a gran escala. Sin embargo, en la actualidad no podemos saber si la tendencia es o no hacia un óptimo en cualquier sentido”.*³³

Pero sea cual sea el alcance que pueda desempeñar la hipótesis Gaia en la configuración de una nueva imagen de la naturaleza para el siglo XXI, el resultado irá inevitablemente acompañado de una reformulación del concepto de vida mucho más alejada del paradigma de la individualidad y, por encima de todo, de un renovado compromiso de la actividad humana en el mundo. Hasta que llegue ese momento, este será nuestro único resultado:

*“Desde luego que, para recorrer el camino que separa la descripción clásica de la naturaleza hasta la nueva que empieza a esbozarse, han sido necesarios numerosos hallazgos sorprendentes tanto teóricos como experimentales. Podríamos decir que buscábamos esquemas globales, simetrías, leyes generales inmutables y hemos descubierto lo mutable, lo temporal, lo complejo”.*³⁴

³³ BOTKIN (1993): *Armonías discordantes...*, op. cit., p. 192.

³⁴ PRIGOGINE, Ilya (1983): *¿Tan sólo una ilusión? Una exploración del caos al orden*, Barcelona, Tusquets, p. 24.