

## PAPIROS *de* Crítica Dialéctica

... ..

(serie GEDIACH)

# Historia de la **Ecología:** de la **Comunidad** al **ecosistema**

*Guido  
Galafassi*

Será la ecología, en tanto rama de la biología, el antecedente genealógico más directo en el análisis de problemática ambiental contemporánea, con un claro sesgo, obviamente, naturalista (cfr. Worster, 1994; Acot, 1988). Es conocido el origen etimológico, pero que es también lo que podríamos definir como un punto de partida conceptual, aunque claro está, nutrido fuertemente de toda una historia de antecedentes previos que fundan la perspectiva relacional propia de la ecología. El término surge en la lengua

alemana como “oekologie”, apareciendo por primera vez en 1866, en una de las obras de Ernest Haeckel, quien fuera de los más fervientes discípulos de Charles Darwin, lo cual no es ninguna casualidad, sino un claro precedente que se define en la mirada vinculo-procesual de la teoría evolutiva. El término “oekologie” aparece en una nota a pie de la obra “Generelle Morphologie der Organismen” (Haeckel, 1866:8) definiendo a la “... ciencia de la economía, del modo de la vida, de las relaciones vitales externas de los or-



ganismos". Este neologismo de oekología, se forma a partir de las palabras griegas "oikos" y "logos" y significa textualmente "ciencia del hábitat".

### Comunidad

En esta etimología, paradójicamente, entra también en juego la "comunidad", por cuanto la raíz indoeuropea de oikos, que es "weik" apela precisamente a esta unidad social supra individual, lo cual coincide con tendencias más modernas ancladas en la categoría "biocenosis" (comunidad), que definen a la ecología como "la ciencia de las comunidades". En el segundo volumen de *Generelle Morphologie der Organismen*, Haeckel dará la definición más afanada al afirmar que "Por ecología entendemos la totalidad de la ciencia de las relaciones del organismo con el medio, que comprende, en sentido amplio, todas las condiciones de existencia" (Acot, 1988). Unos años más adelante, y en su obra sobre la "Histoire de la création" (1874:637)), formula una tercera definición uniendo explícitamente biogeografía con economía de la naturaleza, "La ecología, o distribución geográfica de los organismos ... la ciencia del conjunto de las relaciones de los organismos con el mundo exterior ambiental, con las condiciones orgánicas e inorgánicas de la existencia; lo que se ha llamado la economía de la naturaleza, las relaciones mutuas de todos los organismos vivos en un único lugar, su adaptación al medio que les rodea, su transformación a través de la lucha por la vida, los fenómenos del parasitismo, etc.". La adhesión de Haeckel a los postulados darwinistas de la evolución no pasarán desapercibidos por cuanto enunciará también que "... la ecología es el estudio de esas interrelaciones complejas a las que Darwin se refiere mediante la expresión de condiciones de lucha

por la existencia" (Haeckel, 1970).

De esta forma, y continuando el camino iniciado por la evolución y la fitogeografía, el organismo y su anatomía/fisiología dejan de ser la unidad de análisis por antonomasia en el estudio de la naturaleza y se abre a un campo con enormes proyecciones, seguramente no previstas en aquel momento.

El concepto comunidad o "biocenosis" fue la primer categoría en tanto piedra fundamental que instalará definitivamente la noción de relaciones entre especies e individuos como, no solo unidad de análisis, sino, y mucho más importante, como unidad de organización de la vida sobre el planeta. Karl Möbius, zoólogo y ecólogo alemán, fue el primero en acuñar un término y una definición explícitamente adecuada. "La ciencia no poseía, hasta nuestros días, ninguna palabra... que designase una comunidad de seres vivos; ninguna palabra para designar una comunidad en la cual el conjunto de especies y de individuos, mutuamente limitado y seleccionado por las condiciones exteriores medias de vida, continúa ocupando, gracias a la reproducción, un territorio dado. Propongo la palabra 'biocenosis' para una comunidad de este tipo" (Möbius, 1877:723). Igualmente importantes serán los trabajos, de las siguientes décadas que amplían sus preocupaciones a las poblaciones, y en este sentido parte de los objetivos fueron enfocados en cuantificar las variaciones numéricas de las poblaciones. Pero no será hasta después de la primera guerra mundial en que aparezca la clásica obra de Elton de 1927: "Animal Ecology". La interrelación entre especies será uno de los tópicos claves, categoría que solo se entiende teniendo como horizonte a la comunidad. Dirá Elton, "La estructura del ciclo trófico de las comu-



nidades animales constituye uno de los mecanismos más importantes de regulación, ya que los depredadores son un factor más importante que la cantidad de alimento disponible, en tanto que intervienen como factor directo de control numérico de las poblaciones animales” (Elton, 1927:101). La matematización de estas interrelaciones estaba a las puertas, y Lotka (1925) y Volterra (1935) serán los pioneros, para luego G.f. Gause (1935) avanzar verificando dichas estandarizaciones analíticas y estableciendo el principio de “exclusión competitiva” (o principio de Gause), según el cual, en una misma región geográfica dos especies no pueden ocupar el mismo “nicho ecológico”; lo que establece además la importancia fundante de la especialización, función y estrategia de supervivencia de una especie, siempre en relación a las otras y a su entorno. F.E. Clements es reconocido también como uno de los precursores e impulsores de la noción de comunidad de especies, marcando la interrelación estrecha entre vegetales y animales en un mismo territorio. Refiriéndose a sus diversos trabajos en lo que se dio en llamar como “bioecología”, nos decía a inicios de la década del '20: “Otros estudios se realizaron para determinar si ciertos animales pertenecían a comunidades cuyos fundamentos eran esencialmente de orden vegetal, para definir con mayor precisión las correlaciones existentes entre vegetales y animales...” (Clements, Vorhies y Taylor, 1923: 355). En la misma línea, Shelford (1931: 456) destaca la “unidad de la comunidad biótica” reteniendo como unidad de la ecología solo aquellas que tienen rango de formación, es decir, los biomas. Avanzando más en ello, nos deja otra vez una fuerte impronta organicista, prolongando así el debate, que se mantiene hasta nuestros días. A propósito, comparaba el bioma con una “... un organismo ameboide, una unidad compuesta de partes, en crecimiento, que se desplaza y manifiesta procesos internos que se pueden comparar con el metabolismo, la locomoción, etc., en un organismo”.

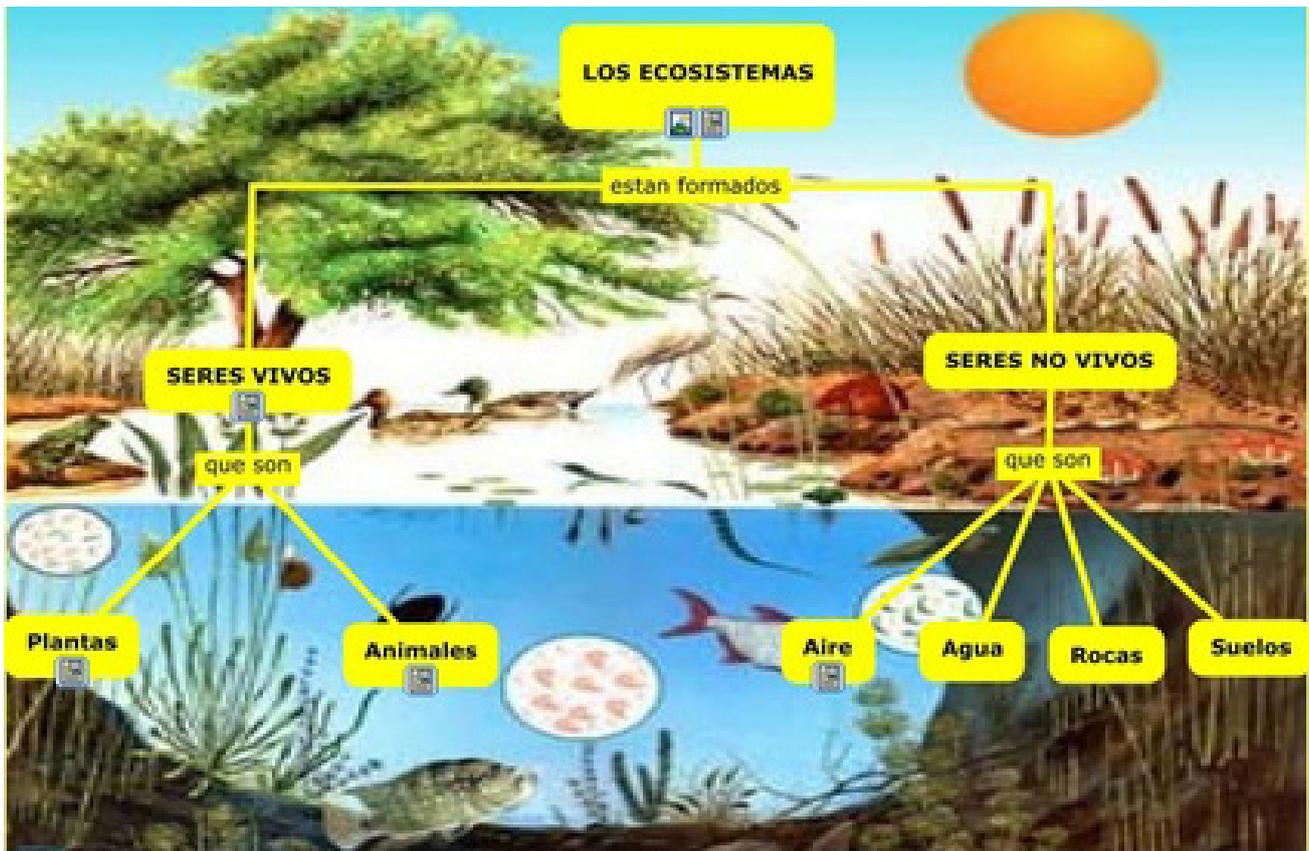
### Ecosistema

El nuevo paso lo constituirá la integración de los factores abióticos, para dejar así constituida la perspectiva ecológica que ha permanecido vigente hasta nuestros días. En 1935, A.G. Tansley introduce el concepto de “ecosistema” para integrar las diferentes dimensiones cuando nos decía “... el conjunto de factores físicos que forman lo que llamamos el medio del bioma, los factores del habitar en su sentido más amplio... esos ecosistemas... son de naturaleza y de tamaño muy variados”. Si bien el hecho de considerar los factores abióticos no representa una novedad absoluta, lo que sí definirá el futuro del concepto, tanto como del punto de vista es considerar en una misma unidad a la



biocenosis junto al medio abiótico. De esta manera se retoman acercamientos puntuales y aislados que se venían realizando, para constituir tanto un perfil de investigación como de identificación de la naturaleza en tanto conjunto complejo. Enfoque que cada vez se irá consolidando más y más, en donde la estructura y las relaciones bióticas-abióticas como un todo, serán el eje vertebrador. En este sentido, el limnólogo suizo F.A. Forel en su trabajo sobre el lago Léman, es considerado como uno de los precursores de la conceptualización, descripción y explicación concreta y aplicada de la teoría moderna de los ecosistemas. Leemos, en efecto: “Mientras que los organismos grandes y pequeños que se devoran mutuamente en el agua del lago, transforman la materia viva en encarnaciones sucesivas cada vez más complejas y más evolucionadas, los microbios representan la función inversa, reducen la materia orgánica a sus elementos más simples que se disuelven de nuevo en la inmensa reserva de la masa indefinida del agua del lago. La función de los microbios agentes de la putrefacción cierra el ciclo de las transmutaciones de la materia orgánica, haciéndola regresar a su forma más primitiva o punto de partida”. Si bien en una cuestionable imagen perfectamente cíclica y cerrada, que caracterizará a la visión ecológica dominante hasta nuestros días, y que especialmente nutrirá a la más ingenua conceptualización de los movimientos ecologistas contemporáneos; Forel describe perfectamente las cadenas tróficas a partir de la interacción de los diferentes organismos vivos con y en su medio abiótico.

La percepción cada vez más clara de la importancia de los factores abióticos en el desarrollo de la vida sobre la tierra, se traduce en que los trabajos centrados sobre la producción biológica tomen un ímpetu consi-



derable, abriendo así las puertas para avizorar el proceso fundamental de la producción primaria en todo ecosistema. Es decir, la síntesis de moléculas orgánicas a partir de sustancias minerales presentes en el medio, por parte de plantas verdes. El epicentro más explícito de la relación entre lo biótico con lo abiótico está representado por la fotosíntesis vegetal, y este proceso será un pilar clave de toda análisis ecosistémico, junto a la respiración en tanto proceso "contrario". Los factores fisicoquímicos del medio pasaran, a partir de los años '40, a ser un tema clave en los estudios ecológicos, y las publicaciones así lo reflejarán. Complementariamente el proceso de descomposición y los organismos encargados de ello, cerrarán el círculo de los desarrollos ecológicos. La obligada relación entre los diversos factores y los diversos niveles ya no puede más pasar desapercibida y el organismo va dejando lugar a la nueva y ya indudable unidad de las ciencias biológicas de último cuño. "Los análisis de los ciclos de relaciones tróficas indican que una comunidad biótica no puede ser diferenciada claramente de su medio abiótico: por lo tanto, el ecosistema debe considerarse como la unidad ecológica fundamental" (Lindeman, 1942: 415). Ecología, física y química empiezan a sino solaparse, entrar sí en juego dinámico y creciente de interrelaciones explicativas y argumentativas, en el cual los flujos de energía pasan a ser claves, condición que se mantiene hasta el presente en todo estudios ecosistémico. Nos decía Lindeman, "El proceso fundamental de la dinámica de las relaciones tróficas es la transferencia de energía de una parte

del ecosistema a otra", y más específicamente en relación a la energía solar, "Una parte de esta energía es transformada mediante fotosíntesis, en estructuras de organismo vivos" (op. Cit.). Podemos comenzar a vislumbrar algún matiz de diferencia entre la concepción relativamente más temprana de Tansley respecto de la Lindeman, en donde para el primero biocenosis y biotopo mantienen cierta identidad, y para el segundo el ecosistema pasa a ser, sin dilaciones, un conjunto de condiciones en tanto totalidad. Se demuestra cada vez más clara la dependencia absoluta de la vida sobre la tierra respecto de la energía solar, entendimiento que se completa a partir de los estudios e hipótesis en relación al origen de la vida.

A medida que aumentan los estudios, la comprensión de la vinculación existente entre dinámica ecosistémica y parámetros físico-energéticos es cada vez más intensa, lo cual orienta además las perspectivas de análisis hacia esa dimensión. La "caloría" será la unidad física utilizada para medir la cantidad de energía (calor) absorbidas por un sistema ecológico, y para medir a su vez, el equivalente energético de la biomasa presente en el mismo. El artículo de Chancey Juday, aparecido en 1940, es un claro ejemplo de las primeras contribuciones al respecto. Teniendo en cuenta el contexto de un gran avance de la química orgánica de aquellos años, es que el autor puede afirmar que "el análisis químico de los diferentes organismos acuáticos ha llegado hoy día lo suficientemente lejos como para permitirnos calcular sus valores energéticos a

partir de las equivalencias que han sido establecidas por los químicos dietéticos. El valor estándar de equivalencia es 5.650 calorías por cada gramo de proteína” (1940:445). Pero a su vez, y teniendo en cuenta que los ciclos biogeoquímicos de cualquier ecosistema dependen de la variación de energía solar recibida, el autor afirma que se podrá entonces calcular “... la cantidad total de energía almacenada y acumulada durante la producción anual de vegetales bajo forma de materia orgánica seca” (1940:438). Biocenosis entonces será sinónimo de energía, “Puesto que la materia orgánica elaborada por las plantas ya directamente, ya indirectamente, de fuente de alimentos para todos los organismos no clorofílicos que viven en el lago, estos últimos constituyen una etapa secundaria en el almacenamiento de la energía acumulada por las plantas acuáticas” (1940:444).

### Teoría sistémica y termondinámica

Ecosistema entonces es una unidad eco-físico-químico-biológica que muy pronto trazará lazos, en principio con la termodinámica, idea en pleno ascenso para mediados del siglo XX, cuyas bases fueron desarrolladas por el físico Schrödinger en 1944 de quien su obra *¿Qué es la vida? (What is life?)* marcó otro hito fundamental en la teoría ecológica. Allí se establecía, en primer lugar, la estrecha relación entre la vida y las leyes de la termodinámica, por cuanto los sistemas biológicos conservan o amplían su complejidad exportando la entropía que producen sus procesos (neguentropía). Y segundo, que la química de la herencia biológica, debe asentarse en criterios de aperiodicidad que permita una secuencia capaz de codificar información necesariamente irregular<sup>1</sup>. Pero a su

1 James Watson, en su “DNA, The Secret of Life” confiesa que el libro de Schrödinger de 1944 “What is Life?” le inspiró para investigar los genes, lo que lo llevó al descubrimiento de la estructura de doble hélice del ADN.

vez se comenzará a surgir una muy fructífera y fuerte vinculación con la noción de cibernética. Norbert Wiener (1948), como uno de sus clásicos mentores, la definió como “el estudio científico del control y la comunicación en el hombre y en la máquina”<sup>2</sup>. La cibernética entonces se pregunta por el control y flujo de información, la manera de comunicación y la relación con el entorno que podían sostener los sistemas complejos. Suelen definirse dos épocas. La primera, llamada habitualmente cibernética de primer orden, se caracterizó por los avances en relación a las diferencias entre una máquina trivial y un sistema complejo. Por un lado solo se pueden procesar ciertas cantidades de entradas (inputs) y sus correspondientes salidas (outputs), y por otro, se apela a los sistemas complejos en base a sus múltiples posibilidades de procesamiento, lo que implica una complejidad en la selección y una reducción correspondiente de la información a procesar, dándose además una relación dinámica con sus entornos (sistemas vivientes o máquinas). A la cibernética de segundo orden también se la ha llamado cibernética de sistemas, por cuanto lo que trata es de observar como un sistema realiza sus operaciones, pero se incluye el rol del observador en la construcción de la realidad que está siendo observada, por tanto implica procesos de recursividad, autorreflexión y autonomía<sup>3</sup>.

Imposible no nombrar aquí a Ludwig Von Bertalanffy y su *Teoría general de sistemas*, que pretende una concepción totalizadora de la biología (aquella denominada «organicista»), en la cual todo organismo es

2 tomando la idea de la palabra griega κυβερνήτης (Kubernites) la que refiere al timonel con el que se gobiernan las naves.

3 Al respecto, Maturana (1986) afirmaba que “Todo lo dicho es dicho por un observador”; y asimismo von Foerster (1991) sostenía que “Todo lo dicho es dicho a un observador”. Cfr también Ludwig Von Bertalanffy (1992) y Gregory Bateson (1991).



conceptualizado como un sistema abierto, en constante intercambio con otros sistemas circundantes por medio de complejas interacciones. Si bien Bertalanffy comenzó a esbozar su teoría leyendo un primer escrito en la Universidad de Chicago en 1937 (cuna de la importante escuela de la “Ecología Humana” (que desarrollare en el apartado de más abajo referido a las ciencias sociales) para finalmente publicarla de manera ya desarrollada recién en 1969. La teoría general de sistemas afirma que los sistemas representan unidades que existen en sí mismas, por lo cual sus propiedades no pueden describirse significativamente en términos de sus elementos separados, por cuanto los sistemas existen a su vez dentro de sistemas. De esta forma, la comprensión de los sistemas sólo ocurre cuando se estudian globalmente, involucrando todas las interdependencias de sus partes. Fundamental es también la concepción que define a los sistemas como unidades abiertas al intercambio permanente con el exterior (otros sistemas) y que las funciones de todo sistema dependen de su estructura, que es lo que define la consistencia de permanencia del sistema.

Toda esta nueva conceptualización teórica, con base en el orden físico y matemático apuntará a la construcción de modelos con interés en entender la “mecánica” ecosistémica, vocablo este último que no es nada más que la conceptualización terminológica de un sistema de base ecológica (sistema ecológico), una de las unidades de análisis sustanciales, como se dijo, de la ecología. El estudio de las equivalencias energéticas por parte del ya citado Lindeman, tendiendo un sólido puente entre el mundo orgánico y el mundo in-

orgánico, ayudó fuertemente a construir una imagen mucho más estructurada del mundo biológico, de tal forma que la ecología representó uno de los canales, junto a la genética, de entrada principal hacia la matematización en el campo del conocimiento, interpretación y explicación de la vida. El peligro de una perspectiva reduccionista estaba en ciernes. De ninguna manera debe entenderse esto como un proceso aislado y propio de la biología. Por el contrario asistíamos al ascenso en el plano filosófico del materialismo a secas, en el plano epistemológico por la aparición del fisicalismo del Círculo de Viena, y en el plano ideológico por la mentalidad científica positivista heredada del siglo XIX. La “mecanización” del ser vivo iniciada por Descartes había llegado a uno de sus puntos culminantes (Acot, 1988).

Ahora, si bien se usan conceptos específicos como nivel trófico y productividad, la teoría de los ecosistemas no será tomados en profundidad y expandida sino hasta los años '50, en la segunda posguerra, cuando aparece, en 1953, *Fundamentals of Ecology* de Eugene P. Odum. Si bien no representó ningún adelanto teórico notable, se constituyó en cambio en un compendio síntesis de la ecología centrada en el ecosistema cómo interacción energética entre el mundo biótico y el abiótico, y de ambos entre sí. Dentro de este esquema es incorporado el hombre en su relación con la naturaleza, especialmente a partir de los años 60. Como se dijo, el principio de la energía en los sistemas ecológicos ordena el pensamiento de gran parte de la ciencia ecológica hasta la actualidad, y en esta estructura de relaciones es incluida la especie humana y todos sus distingos, aunque estos pacen mayormente desapercibidos<sup>4</sup>. El ser humano pasa a ser un componente más del ecosistema y es analizado en base a las leyes generales que rigen todo el conjunto. Howard Odum, hermano de Eugene, llega a dedicar un capítulo de su obra (1980) a la “Base energética de la religión”, con lo cual no queda resquicio humano diferenciador que no sea igualado a cualquier otro ámbito de la física. La idea de “El hombre en la Biosfera” planteada, hace ya algunos años, por Margalef (1974, 1978, 1980, 2002) sintetiza esta vertiente disciplinaria y teórica hasta el día de hoy, sometiendo al hombre bajo las mismas leyes que el resto de los componentes vivos de la biosfera. La noción de ecosfera comienza a también a ganarse su lugar, aunque sin nunca superar en espacio bibliográfico y de tratamiento al de biosfera, a pesar de ser, y pretender ser, una noción claramente más ecológica por cuanto

- Estructura
- Funcionamiento
- Flujos de energía



4 El flujo de energía sirvió de principio rector en los años 70 y parte de los 80 para explicar el funcionamiento de los sistemas ecológicos y el planeta, incluyendo a las poblaciones humanas (cfr. Harrison Brown, 1970; Singer, 1970; Lugo & Morris, 1982, Sarmiento, 1984).



*“La biosfera evoca fundamentalmente al componente biótico de los ecosistemas... Pero preferimos no obstante utilizar el concepto de ecosfera para no subestimar la acción y la importancia de los agentes físicos que a través de las envolturas fluidas del planeta, hidrosfera y atmósfera, cobijan, modelan, modifican y condicionan la existencia de la vida y de la biosfera”* (Sarmiento, 1984:252). El concepto de ecosistema es utilizado como una herramienta útil en el diseño de la vida en base a una ingeniería social (Taylor, 1988) y llama la atención también la afinidad entre las versiones sistémicas de la biología y ciertas proyecciones en las estrategias de gestión del desarrollo (Kwa, 1987).

La ecología como ciencia fue también el generador o alimentador de muchos discursos que dieron y dan sustento al ecologismo o ambientalismo como movimiento social y ecológico en sus diversas variantes, y que serán vistos en profundidad en el capítulo 3, y exploradas sus problemáticas en todos los siguientes. Pero sí vale detenerse aquí en aquellos hitos que desde la ciencia ecológica llamaron abiertamente la atención sobre lo que comenzó a definirse como daño ambiental (a pesar que ya desde distintos lugares de reflexión individual o colectiva se advertía respecto de los peligros que la “vida moderna” acarrea sobre el ambiente. Rachel Carlson es considerada la pionera, por lo menos en Estados Unidos, respecto del llamado de atención de una naturalista sobre el impacto que la producción moderna tiene en relación al ambiente. Con una maestría en Biología Marina por la Universidad Johns Hopkins, docente de zoología en la Universidad de Maryland y científica en la Dirección de Pesca de los EEUU, su preocupación estuvo siempre centrada en los temas relativos a la conservación, hasta que finalmente en 1962 publica su icónico *Silent*

*Spring* (Primavera silenciosa) en donde denuncia los peligros que el DDT y otros pesticidas representaban para la fauna y flora silvestres. Este trabajo es el resultado de varios años de investigación y de recopilación de información precisa sobre el problema. A pesar de esto fue calificada como “mujer histérica” por la industria química, lo que claramente no debe sorprendernos. Sin embargo, el libro tuvo una acogida favorable por parte del público y una repercusión creciente en diversos medios de prensa. Para 1970, el gobierno de los EEUU creó la Agencia de Protección Ambiental, y en 1972 se prohíbe el uso del DDT. Son muchos los trabajos que fueron comenzando a analizar y difundir el daño ambiental, aplicando así los descubrimientos ecológicos al desarrollo de la vida social, sus impactos y consecuencias. Solo como apunte nada exhaustivo vale mencionar algunos de estos trabajos. Barry Commoner (1966) en *“Ciencia y supervivencia”* nos advertía con lúcida auscultación, la crisis ecológica ya manifiesta dada por la desproporción entre el crecimiento industrial y tecnológico y la fragilidad de los ecosistemas. René Dubos (1968:222) en su libro *“Un animal tan humano”* escribía: *“Los textos de historia condenan a Luis XV por su irreflexiva observación: Después de mí, el diluvio. Ahora bien, nosotros estamos utilizando también la Tierra como si fuera la última generación que hubiera de habitarla”*. O su trabajo posterior junto a Barbara Ward, *“Una sola tierra”* (1972) en donde profundizaba esta idea. La obra de P. R. Ehrlich y A. H. Ehrlich *“Población, recursos y medio ambiente”* (1970) marcó de alguna manera el debate tan ríspido en aquellos años por el MIT (Massachusetts Institute of Technology) y el Club de Roma, que indicaba que el desastre ambiental tenía en el crecimiento de la población humana su causa fundamental. A este debate le contestará el famoso trabajo de

la otrora Fundación Bariloche “Modelo Mundial Latinoamericano” (1975), quienes con su modelo matemático intentaban demostrar los prejuicios e intereses políticos que los países centrales ponían en este debate al querer congelar el “desarrollo” en la periferia (Galafassi, 1996). Y volviendo a la ecología básica, termino por mencionar a Pascal Acot (1977), quien en su “Introducción a la ecología” nos muestra una clara interacción entre los principios ecológicos básicos y como estos se pueden aplicar al estudio del impacto ambiental.

### Sistemas complejos

La noción de sistema, como se viene diciendo, subyace, ya sea de forma explícita o implícita, en toda la investigación ecológica desde los años '40 del siglo pasado. Y en este marco, la Teoría de los Sistemas Complejos (TSC) se ha constituido, sin lugar a dudas, en el desarrollo culmine de las derivaciones de la cibernética de segundo orden, siendo adoptada con una clara afabilidad y dilección por buena parte de la ecología actual. Con muchos más rulos de inputs y outputs, y observables y observadores, ha intentado matizar el profuso fisicalismo de todo análisis sistémico, introduciendo el punto de vista del sujeto que conoce (tal los postulados de la cibernética de segundo orden). A diferencia de la cibernética de primera orden, la Teoría de los Sistemas Complejos asume que todo sistema es definido por el observador, partiendo de la epistemología genético-constructivista de Jean Piaget y la llamada Escuela de Ginebra (podríamos afirmar

que se corresponde en epistemología a la escuela interpretativista de la sociología, en boga en las últimas décadas). En habla hispana y cercano a la ecología lo tenemos al físico argentino Rolando García quien afirmaba que *“ningún sistema está dado en el punto de partida de la investigación. El sistema no está definido, pero es definible”* (2006). Será el punto de vista del investigador quien defina el sistema. Vale recordar que más de 100 años antes sostenía esto mismo Max Weber para el campo de la sociología. Ahora, ¿que es lo que le otorga la cualidad de complejo a un sistema? Según los teóricos de la TSC la complejidad hay que entenderla en función de tres precisiones fundamentales: la complejidad como concepto metodológico, como concepto organizacional y como concepto evolutivo (. A su vez, cada una de estas precisiones se engarza respectivamente con tres problemáticas, que son consideradas cruciales por la TSC, a saber: como dimensión metodológica tenemos a la cuestión de la interdisciplina requerida como estrategia de investigación, *“definimos primero el objeto y luego nos planteamos la manera de estudiarlo. Llamaremos entonces investigación interdisciplinaria al tipo de estudio que requiere un sistema complejo”* (García, 2006); en términos de la dimensión organización, la clave estaría definida por la interdefinibilidad entre los componentes de un sistema complejo; y finalmente, y por cuanto se considera a los sistemas complejos dotados de una modalidad de cambio específica, nos encontramos con la cuestión de las reorganizaciones sucesivas, condición que define la dimensión evolutiva.

Las problemáticas complejas refieren así a situaciones



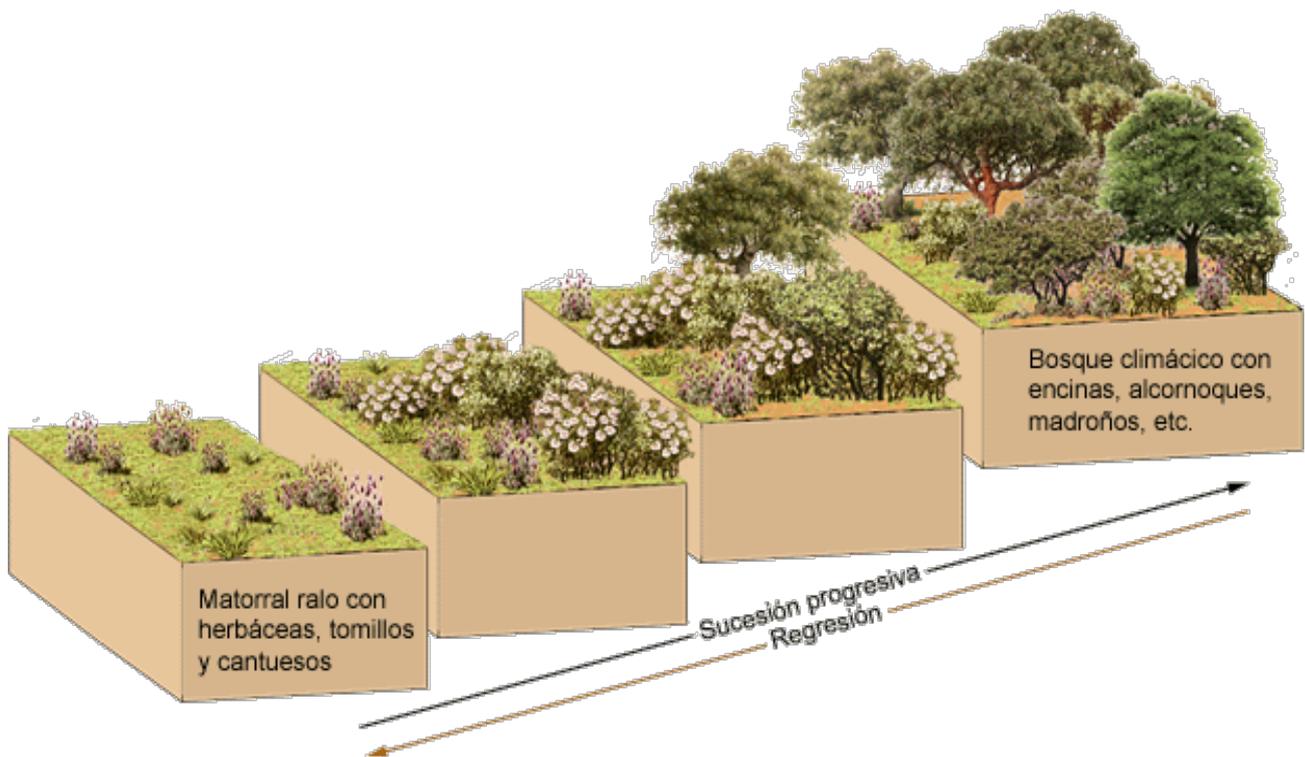


en las cuales confluyen una multiplicidad de procesos de diferente orden, interrelacionados entre sí, procesos que han sido estudiados por disciplinas distintas. Por ejemplo, y referido a la problemática que nos ocupa, la degradación ambiental y el cambio climático constituyen claramente problemáticas complejas en la medida en que se encuentran involucrados procesos físico-químicos, biológicos, socio-productivos, culturales y político-económicos. García (1994) nos decía respecto a la necesidad de apelar a las TSC: *“La gravedad de los problemas planteados por la problemática ambiental, así como sus proyecciones sociales, económicas y políticas, han puesto de manifiesto serias limitaciones en los estudios realizados para diagnosticar la raíz de los problemas, para prevenirlos, o para generar políticas que detengan y reviertan el deterioro”*. Cada disciplina podría ocuparse de un aspecto de la problemática, pero esto no alcanza para poder entender el todo. Así, *“...cuando se trata de un sistema ambiental complejo, no basta con visualizar desde cada disciplina los problemas allí involucrados para luego “poner juntos” los resultados de los respectivos análisis. Un sistema complejo funciona como una totalidad. Los procesos que allí tienen lugar están determinados por la interacción de elementos o subsistemas que pertenecen a dominios disciplinarios diversos y cuya contribución a cada proceso no es en-*

*teramente separable de las otras contribuciones. Esta consideración adquiere fundamental importancia cuando se estudia la evolución del sistema como tal, por cuanto la dinámica de la totalidad no es deducible de la dinámica de los elementos considerados aisladamente”* (García, 1994).

La gran virtud de las TSC fue el poner el énfasis en las múltiples conexiones existentes entre los distintos órdenes de toda realidad, y de aquí su conexión con la ecología; pero su gran problema es justamente su escasa capacidad para poder captar, y considerar en consecuencia, las diferencias entre esos distintos órdenes de la realidad, al subsumirlos todos bajo el imperio homogeneizador del “sistema”. Y esto no es ningún pequeño detalle, sino que por el contrario constituye un fundamento teórico-epistemológico claramente contraindicado.

Es que el análisis sistémico (más o menos complejo) nunca ha abandonado los principios igualadores de lo distinto que tiene toda interpretación basada en el análisis de flujos y de relaciones que no enfocan en profundidad la diferencia cualitativa entre ellas. Queándose así siempre a media agua, por carecer de una mirada capaz de desentrañar la disimilitud entre lo físico-químico, lo biológico y lo sociocultural. Pero muy especialmente es incapaz de discernir la comple-



alidad dialéctica de los procesos sociales y la acción de los sujetos humanos que interactúan desde un lugar diferencial respecto de la naturaleza, de la cual, sin embargo y al mismo tiempo son parte (Galafassi, 2021).

### Biosfera: el ecosistema total

La idea de un dominio poblado por los seres vivos en la Tierra, fue de alguna manera, ya introducida por Lamarck, para posteriormente Eduard Suess acuñar la palabra Biosfera. Este concepto aparece efectivamente por primera vez en la monumental obra de este geólogo austriaco bajo el título de *“La faz de la tierra”* (Das Antlis der Erde), publicados sus 5 volúmenes entre 1883 y 1909. Pero el estudio sistemático desde un punto de vista geoquímico y ecológico recién adquirió toda la difusión, que lo acredita hasta el presente, hacia mediados de los años ‘20 del siglo pasado con la publicación de *“La Biosphere”* del académico ruso Vladimir I. Vernadsky. Este concepto comenzará a revelar el carácter fuertemente holístico que adquirirá la tendencia mayoritaria de los estudios y concepciones ecológicas y ecologistas, pudiéndose hablar claramente de una ecología global (Grinevald, 1987).

La versión original en ruso del libro de Vernadsky se editará en 1926 y su traducción francesa, la cual dará un fuerte impulso a su difusión, será de 1929. Esta obra reúne una serie de artículos, síntesis de las investigaciones originales del autor, publicados

previamente en la *“Revue generale des Sciences”* de París y el *“Boletín de la Academia de Ciencias”* de Leningrado. De esta manera el concepto de Biosfera es anterior al de Ecosistema, acuñado éste, como se dijo más arriba, en 1935.

Vernadski conjuga en su trabajo, diferentes tradiciones de las ciencias naturales de su época. Por empezar, continúa la labor de los estudios pedológicos de su maestro Vassili Dokuchaev, quien ya tuviera un enfoque claramente globalista, holístico, de la cubierta edáfica de la tierra. Precisamente, Dokuchaev (1883) afirmaría que *“El suelo, es la cobertura de la roca superficial formada por la acción conjunta de todos los factores climáticos, insolación, calor, humedad, electricidad atmosférica, con el concurso obligatorio de las plantas y de los organismos animados micro y macroscópicos”*<sup>5</sup>. Una mejor definición ecológica del suelo, no se podría haber acuñado, tanto que es la que permanece hasta la actualidad. Una segunda tradición fue la de la química de los seres vivos, procedente de Alemania y Francia. Y por último, aquella que orientaba a muchos naturalistas rusos, respecto al estudio de las comunidades. Inicia una nueva línea de investigación anclada en la geoquímica global, que él define como *“la química y la historia de la corteza terrestre”*<sup>6</sup>. Así, se diferenciará de la tradición anglosajona basada en conceptos geobotánicos, para fundar una concepción ecológica con base en la genética y química edáfica (Deléage, 1993).

5 Citado en Boulaine, 1984.

6 En su libro *La Géochimie*

Si bien Suess introduce el término Biosfera, lo define como un fenómeno geológico, pero junto al cual los componentes vivos encontraban su ubicación participativa. Escribía entonces, que este juicio conceptual “*implica la noción de una Biosfera que señala a la vida su lugar por encima de la Litosfera*”<sup>7</sup>. La definición de Vernadsky es mucho más ecológica, holística y en consecuencia, biológicamente sistémica. Según éste, se aplica a “*la región única de la corteza terrestre ocupada por la vida (que) en sí misma no es un fenómeno exterior o accidental en la superficie terrestre. Está ligada estrechamente a la estructura de la corteza terrestre, forma parte de su mecanismo... Toda la vida, toda la materia viva puede considerarse como un conjunto indivisible en el mecanismo de la biósfera*”<sup>8</sup>. Para Vernadsky estaba clara la conexión entre los factores geológicos, los procesos vivos y la historia evolutiva de la tierra, al mismo tiempo que entendía que la vida estaba limitada a rangos acotados por parámetros físicos y químicos. Entendía a la biosfera como un mecanismo cósmico armonioso, en el que no había lugar para el azar, en el sentido que todo estaba regulado. La biosfera representa la porción de la corteza terrestre en donde, y merced a los procesos biológicos y bio-físico-químicos de transformación, se trocan las radiaciones cósmicas en energía terrestre activa. Esta interacción permanente implica la existencia de tres componentes diferentes: la materia viva, la materia biógena (origen en los seres vivos como, combustibles fósiles, turba, humus), y la materia bio-inerte (indisoluble también de la historia de la vida, como el agua, la parte baja de la atmósfera, y las rocas sedimentarias) (Deléage. 1993).

Vernadsky, ya observaba el papel protector del ozono, “*La vida está protegida en su existencia por la pantalla de ozono, de un espesor de 5 mm. que sirve de límite superior a la biosfera*”<sup>9</sup>. Al mismo tiempo, deja perfectamente explicitado que todo el oxígeno libre existente (y que es la base para la formación del ozono) se forma en la biosfera por mecanismos bioquímicos, estando indisolublemente ligado a la existencia de vida. Insistiendo con la historia geológica, decía, “*El hecho principal es la existencia de la biosfera durante todos los períodos geológicos. Esta biosfera siempre ha estado constituida de la misma manera en sus características esenciales. De esta forma, un único y mismo aparato químico ha funcionado sin cesar en la biosfera a través de todos los períodos geológicos, movida por la corriente ininterrumpida de la misma energía solar irradiada, aparato creado y mantenido en acti-*

*vidad por la materia viva*”<sup>10</sup>. Y es en esta explicación de fuertes interrelaciones estructurales y funcionales entre los diversos ámbitos de la existencia que sitúa al ser humano y su historia, en tanto aparece como una ruptura sin precedentes en el proceso de migración biógena. Es decir que reconocía claramente el rol distintivo del género humano y su civilización en el amplio espectro de la vida sobre la tierra, resaltando su geométrica capacidad de cambio de las estructuras y variables de los ciclos naturales de la biosfera. Al mismo tiempo, admite que toda una evolución paleontológica ha preparado el surgimiento del humano, y que desde sus orígenes más lejanos “*está indisolublemente ligado a un mismo bloque de la vida con todos los seres vivos que existen o que han existido. El ser humano está aún ligado a este bloque por su nutrición*” (Vernadsky, 1925). Se nota claramente un interpretación de la civilización humana desde un costado

10 Ibid., pp. 198



7 Suess, op. Cit, T. III, parte 4, pp. 1632.

8 Vernadsky, La Biosphere, op. Cit, pp. 27.

9 Ibid, pp. 147

preferentemente biológico, descuidando los procesos propiamente socio-culturales, característica de sesgo que veremos repetirse a lo largo de la historia de las ideas, ya sea hacia un lado o hacia el otro.

Paralelamente en el tiempo con Vernadsky en la URSS, Alfred Lotka en USA desarrolla una serie de investigaciones y planteos de la globalidad ecológica en términos geoguímicos y termondinámicos. En su obra clásica "Elements of Physical Biology" (1925) caracteriza al mundo como "... un escenario con tres pisos: el cielo por encima de nosotros, las aguas del océano, y bajo nuestros pies, la tierra firme; la atmósfera, la hidrósfera y la litósfera" (pp. 185). Pero estos estudios no representan una imagen estática, sino que por el contrario lo que evaluará es la composición química, describiendo y analizando los ciclos de minerales y los flujos de los elementos que circulan entre los tres pisos. Agua y energía solar son el vector y el promotor fundamental de estos ciclos, siendo la evapotranspiración de las plantas uno de los procesos característicos. El trabajo de este biofísico en pos de instalar la idea de una ecología global, no se terminaba en el análisis de los ciclos naturales, sino que también fue

capaz de ver como estos ciclos penetran también indefectiblemente, las actividades humanas, cuando estudio la circulación de carbono e hidrógeno. "Todos estos hechos, tienen no solamente una influencia en la flora y en la fauna primitivas como una función de emplazamiento geográfico, sino que juegan también un papel importante en estos fenómenos en el segundo grado de la vida, que describimos habitualmente como comercio y mercado" (Lotka, 1925: 258).

Los estudios bio-geo-químicos en pos de analizar la biosfera como una unidad, se instalaron definitivamente en el análisis ecológico, siendo hoy en día, uno de los temas siempre presentes en cualquier tratado o manual. Vale destacar en este sentido los trabajos de G. Evelyn Hutchinson junto a G.A. Riley (1944) sobre el metabolismo del carbono y la eficacia de la fotosíntesis; y el más completo referido al examen de la biosfera en el que demuestra como la vida y los ciclos biogeoquímicos poseen una dependencia total respecto a la energía solar. Pero, para un análisis ecológico completo, los organismos vivos deben dar su señal de presente, y Hutchinson lo trabaja claramente con la noción de "nicho ecológico" en tanto un "hipervo-



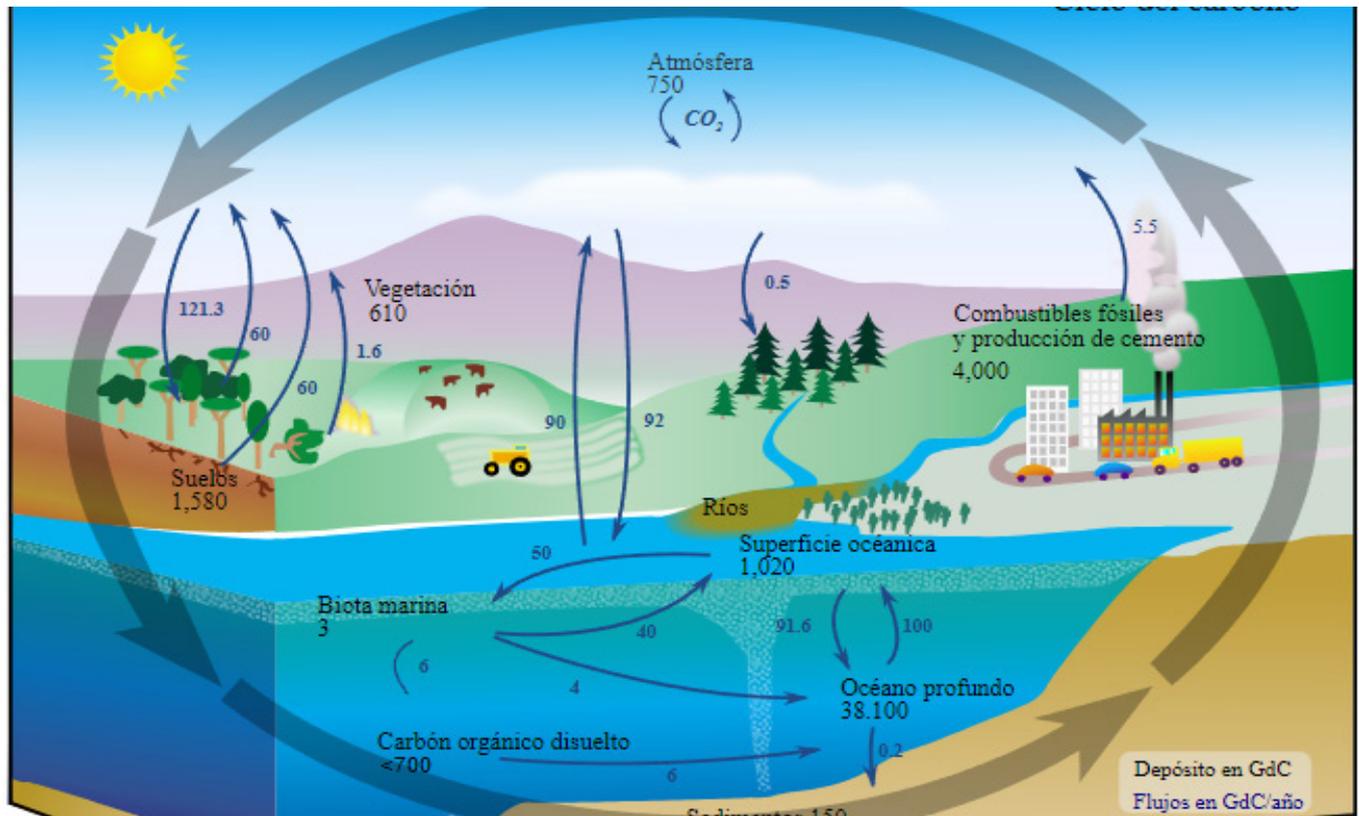


*lumen, cada punto del cual corresponde a un conjunto de valores de las variables que permitan la existencia del organismo... Si diversas especies viven juntas pero compitiendo, cada una tendrá un nicho efectivo, que usualmente corresponde a un hipervolumen menor que el nicho fundamental...*” (Hutchison, 1965). Está claro que la interacción es completa, desde el mundo físico-químico al biológico. Y como en esta dinámica media la intervención humana, ya no desde un análisis neutro, sino introduciendo el llamado de atención, tan característico de la ecología posterior, sobre las distorsiones que esto genera en la ciclicidad natural. *“El hombre moderno, es un agente particularmente eficaz de la erosión zoógena, pero esta erosión es totalmente específica, afecta sobre todo los suelos cultivables, los yacimientos minerales accesibles y las otras partes de la biósfera que proporciona las cosas de las que el Homo Sapiens como mamífero y como organismo socialmente educado necesita o cree necesitar. La intensidad de este proceso aumenta constantemente, como la población”* (Hutchinson, 1948). Solo como un hito de continuidad de estos estudios, vale citar los trabajos de Mikhail Budyko (1977), quien, en su clásica obra *“Global Ecology”*, y con más énfasis en información meteorológica, continúa la concepción del planeta Tierra como una clara unidad físico-bio-geo-química<sup>11</sup>.

11 Grinevald (1990) ha publicado una interesante genealogía sobre el proceso de una perspectiva de síntesis entre los procesos de regulación geológicos, físico-químicos y metereológicos, en el marco de una ecología global.

Este enfoque global de la biosfera terrestre implicó analizar la regulación térmica por el efecto invernadero. Ya hacia finales del siglo XVIII nos encontramos con las primeras aproximaciones por parte de Horace de Saussure. En 1824 Joseph Fourier escribe su *“Memoria sobre las temperaturas del globo terrestre y de los espacios planetarios”*. Será el sueco Savante Arrhenius quien a finales del siglo XIX establecerá definitivamente la teoría del *“invernadero caliente”*. Y posteriormente A. Kostitzin (1935), cercano a Vernadsky, desarrollará una investigación fundamental respecto al papel de la atmósfera en la regulación de la temperatura terrestre y como esto tiene una influencia vital sobre todas las especies biológicas.

Un escalón más arriba y ya como claro preanuncia de lo que será la hipótesis Gaia, nos encontramos desde los inicios del siglo XX con correlaciones entre factores *“cósmicos”* y los procesos reguladores de la biósfera. El mencionado Vernadsky tenía este mismísimo giro explicativo, cuando por ejemplo definía a las criaturas terrestres y al ser humano como *“hijos del sol”*. A. Chijevski, llegó a crear una ciencia para estudiar las influencias cósmicas sobre los seres vivos de nuestro planeta, que llamó Heliotaraxia. Anticipando la mística del concepto contemporáneo de antropoceno, el historiador y etnógrafo L. Gumilev (1974) identificó a la *“etnosfera”* como un subsistema particular de la biosfera, cambiando el término de *“noosfera”* creado antes por Vernadsky. Tal como nos dice Deléage (1993:247), es *“extremadamente tenue la frontera*



entre la ecología científica y una metaecología, que sería un simple reajuste de las antiguas creencias cósmicas según la moda ecológica del momento". Vale cerrar este párrafo respecto a esta mirada que, antes que nada, resalta los factores de equilibrio y de simetría en las complejas relaciones naturales. Sin lugar a dudas hay que destacar a la temprana mirada de Jacques Bernandin de Saint Pierre, quien en 1815 publica su "Harmonies de la nature", que incluye incluso un toma respecto de la armonía humana. Mas contemporáneamente, tengo que citar el libro del ruso L. Golovanov, "L'Admirable Harmonie de la Nature", publicado en Moscú en el año 1981.

### La hipótesis Gaia

Así, la hipótesis Gaia como planeta vivo, corona las tesis del equilibrio. Pero antes, es mérito repasar el concepto previo de "Nave Espacial Tierra", no porqué significara un antecedente teórico exacto de Gaia, pero sí porqué fue marcando el camino, la tendencia, mayormente asociada con el desarrollo de la ecología, de concebir al planeta como una unidad asociada a cierta idea de homeostásis (no contradictoria). Contra la concepción dominante que entendía a los recursos naturales como inagotables, el economista británico Kennet Boulding publicó en 1966 "The economics of the coming spaceship earth", en donde la metáfora de la "nave espacial Tierra" fue utilizada para demarcar los límites del planeta, ya sea para la extracción de recursos como por la capacidad de asimilación de los residuos. Es decir, la tierra como una

unidad, y no como simple sumatoria de recursos. Por su parte, el arquitecto, tecnólogo, ecologista y futurista Richard Buckminster Fuller, publicó, en 1969, un libro llamado "Manual de operaciones de la nave espacial Tierra", en el que llama a las personas astronautas y describe cómo el planeta necesita mantenimiento continuo para seguir funcionando, al igual que un vehículo. Más allá de estos dos nombres, la figura de la Nave Espacial Tierra fue ampliamente utilizada en los años '60 y '70 por todo el credo ambientalista para llamar la atención sobre la unidad del planeta y su frágil "equilibrio".

La entronización de la perspectiva que privilegia la armonía en la naturaleza por sobre toda lucha, está representada más claramente por la hipótesis Gaia, a la que podemos definir como un modelo interpretativo a partir del cual el mantenimiento de la biosfera se explica a partir de las condiciones creadas por la presencia de la vida. Según la hipótesis Gaia (cuyo nombre es tomado de la diosa griega de la Tierra, Gaia, Gea o Gaya), la atmósfera y la parte superficial del planeta Tierra constituyen un sistema, en donde la vida, en tanto componente esencial, es la encargada de autorregular sus condiciones esenciales de existencia, en término de los parámetros geológicos y físico-químicos. Temperatura, composición química de cada una del aire y de cada una de las partes de la biosfera, salinidad de los océanos, etc., mantienen una estabilidad característica gracias al papel que cumplen el conjunto de los organismos vivos. Gaia se comportaría como un sistema autorregulado (que tiende al equilibrio). El

número de los procesos biológicos y físico-químicos, sus diversas reacciones, cambios de estado, bifurcaciones, bucles, oscilaciones, desplazamientos, etc. es tan enorme, que el conocimiento contemporáneo solo ha podido esbozar sus eslabones fundamentales. A pesar de esta infinita complejidad, se percibe al sistema total como autorregulado.

Fundamentalmente se visualiza al planeta Tierra como una máquina térmica que recibe permanentemente un flujo de radiación solar responsable de dos procesos primordiales como la fotosíntesis y el ciclo hidrológico: evaporación de las aguas oceánicas, calentamiento diferencial de las masas de aire, que es lo que origina los vientos, lluvia, transporte y transferencia de sustancias químicas –ciclos biogeoquímicos-, circulación intra e inter ecosistémica y soporte esencial de la fisiología de todos los organismos vivos, fotosíntesis, evapotranspiración. El concepto de metabolismo, que Hutchinson nos recordaba en 1970, nos ayuda a graficar en términos bioquímicos, la síntesis de la biología y su interrelación con los sistemas físicos. *“La actividad metabólica de los organismos consiste esencialmente en elaborar sistemas de macromoléculas a partir de las moléculas dispersas en el entorno”*, con la expresa condición de la presencia del agua en este entorno. Hutchinson además nos recordaba al solo como fuente de la cual depende toda la vida, y a la fotosíntesis como su puerta de entrada.

Específicamente, la hipótesis Gaia fue ideada por el químico, ambientalista e investigador en medicina inglés James Ephraim Lovelock durante los años sesenta cuando trabajaba para la NASA analizando químicamente la atmósfera de Marte en pos de descubrir la existencia o no de vida en aquel planeta. Dicho análisis lo realizó comparando la atmósfera marciana con la terrestre, encontrando así notables diferencias en

su dinámica y composición, llegando así a la conclusión de la ausencia de vida en el planeta rojo. Así lo afirma Lovelock *“El hecho de pensar en la profunda diferencia entre la atmósfera de la Tierra y la de otros planetas me llevó a mi principal tema de investigación durante los últimos veinte años, la hipótesis de que la Tierra es un sistema autorregulable capaz de mantener su clima y composición química confortable para los organismos que lo habitan. Ésta hipótesis -la hipótesis de Gaia, ahora llamada teoría de Gaia- todavía debe probarse. Una crítica habitual a esta teoría es que se relaciona con la Teología. Esta acusación es injusta, pues nunca me propuse atribuirle un propósito o una visión del futuro. Sea correcta o no, es una teoría comprobable y capaz de realizar predicciones arriesgadas”* (Lovelock, 2000).

Si bien ideada en los años ´60, como dije, la hipótesis sobre Gaia, como visión del planeta en tanto planeta vivo, fue recién publicada en el años 1979 en Oxford bajo el título *“Gaia, a New Look at Life on Earth”*.

Esta teoría se basa en la idea de que la biosfera autorregula las condiciones del planeta Tierra, retrasando así el nivel final de entropía, para hacer que su entorno físico (especialmente temperatura y química atmosférica) sea más “acogedor” con las especies que conforman la vida, favoreciendo así su desarrollo, imposible en otras condiciones. La hipótesis Gaia define esta “acogida” como una completa homeostasis. La homeostasis (del griego hómoios, ‘igual’, ‘similar’, stásis, ‘estado’, ‘estabilidad’) es una propiedad de los organismos vivos consistente en su capacidad de mantener una condición interna estable compensando los cambios que se generan en su entorno mediante el intercambio regulado de materia y energía con el exterior a través del proceso definido como metabolismo. Constituye así, una forma de equilibrio dinámico, posible solamente gracias a una red de sistemas de



control realimentados, constituyéndose en los mecanismos de autorregulación de los seres vivos. La hipótesis Gaia conlleva la asociación de esta homeostasis a nivel de organismo a la escala planetaria, de ahí la afirmación de la Tierra como un planeta vivo.

Según la segunda ley de la termodinámica, un sistema cerrado tiende a la máxima entropía o desorden, asociado a una situación de equilibrio, por representar esta situación la etapa final del sistema, etapa irreversible y estable, por haberse acabado todas las transformaciones de energía posibles. Cuando algo no es controlado puede transformarse y desordenarse, de aquí que la entropía refiere a esta especie de proceso de puesta en desorden, medida en términos energético, de todo aquello que tiende a ser sistematizado por estos procesos de transformación. Entendida entonces en términos termodinámicos, es decir a partir de considerar los procesos que surgen a partir del intercambio de energías y de la puesta en movimiento de diferentes elementos naturales, la entropía entiende que de ese caos o desorden existente en un sistema surja una situación de equilibrio u homogeneidad que, a pesar de ser diferente a la condición inicial, suponga que las partes se hallan ahora igualadas o equilibradas. Como los procesos reales son siempre irreversibles, siempre aumentará la entropía. Así como



la energía no puede crearse ni destruirse, la entropía puede crearse pero no destruirse. Es posible afirmar entonces que, como el universo es un sistema aislado, su entropía crece constantemente con el tiempo. Esto marca un sentido a la evolución del mundo físico, que se conoce como principio de evolución. Cuando la entropía sea máxima en el universo, esto es, cuando exista un equilibrio entre todas las temperaturas y presiones, llegará la muerte térmica del universo<sup>12</sup>.

La vida entonces, representa un proceso termodinámico por el cual se retrasa ese nivel final máximo de entropía. Lo primero a considerar es que todo ser vivo representa un sistema abierto que funciona extremadamente lejos del equilibrio. Si bien, en un sistema biológico, cada proceso individual conlleva un aumento de entropía, el sistema consigue mantenerse estable absorbiendo de su entorno, energía con bajo contenido entrópico, tal como la radiación solar. En el universo en su conjunto, siempre la radiación constituye la fuente de energía con bajo contenido de entropía por excelencia. La energía solar, como se dijo, es absorbida por plantas verdes y reconvertida en azúcares. Gracias a este proceso metabólico, los seres vivos pueden compensar la pérdida de energía al ambiente –ya sea que se realice trabajo o, simplemente, disipación de calor– y mantener así controlado el contenido de entropía de los cuerpos, de manera de no terminar rápidamente en el estado de equilibrio térmico. Es que, en el momento en que se pierde la capacidad de combatir eficientemente el aumento de la entropía, se deja de ser un ser vivo (Calzetta, 2009).

Para el caso del planeta Tierra, este equilibrio equivaldría en términos químicos, que todas las reacciones del proceso hacia el equilibrio ya se habrían producido y su atmósfera debería componerse mayoritariamente de CO<sub>2</sub>, aproximadamente un 99%, con solo vestigios de oxígeno y nitrógeno. Lovelock comienza a realizar estas argumentaciones a partir de su investigación de Marte para la NASA, por cuanto estos serían los valores en aquel planeta sin vida (para Venus el CO<sub>2</sub> está en un 98%; y el O<sub>2</sub> en un 0,13% para Marte y solo trazas para Venus). Pero sin embargo, la composición química de la atmósfera del planeta Tierra es de un 78% de nitrógeno, un 21% de O<sub>2</sub> y apenas un 0,003 de CO<sub>2</sub>. Según la hipótesis Gaia, esto se debe a la actividad y reproducción de los organismos vivos, que crean y mantienen estas condiciones que la hacen habitable y apta para el desarrollo y conservación de la vida.<sup>[7]</sup> Esto contrasta con la suposición anterior que suponía que la Tierra poseía las condiciones apropiadas

12 Fue el físico alemán Rudolph Clausius (1851, 1865), quien formuló originalmente la segunda Ley de la Termodinámica, que incluye a su vez la noción de “muerte térmica”.



das para que la vida se diese en ella, y que esta vida se había limitado a adaptarse a las condiciones existentes, así como a los cambios que se producían en esas condiciones. La hipótesis Gaia reconoce para el planeta Tierra, ciertas condiciones iniciales necesarias para el origen de la vida, para luego sostener que fue esta propia vida en sus diversas formas, quien las ha ido modificando, generando nuevas situaciones. Así, las condiciones posteriores al origen son la resultante y la consecuencia de los procesos biológicos y bio-físico-químicos de la diversas manifestaciones de la vida en el planeta.

Lovelock (1979) definió a Gaia como, *“Una entidad compleja que implica a la biosfera, atmósfera, océanos y tierra; constituyendo en su totalidad un sistema cibernético o retroalimentado que busca un entorno físico y químico óptimo para la vida en el Planeta.”* Es decir que sostenía la existencia de un sistema de control global de la temperatura, la composición atmosférica y la salinidad oceánica. Gracias al cual la temperatura global de la superficie de la Tierra ha permanecido constante, a pesar del incremento en la energía proporcionada por el Sol, así como permanece constante la composición atmosférica y la salinidad del océano. Es la existencia de vida la que explica estos valores particulares y constantes.

Para explicar esta característica particular del planeta Tierra, en relación a la centralidad de la vida como agente capaz de mantener las condiciones químicas de Gaia, la bióloga Lynn Margulis, defensora también de la hipótesis Gais, ha investigado y especificado la crucial importancia de los microorganismos para

transformar gases que contienen nitrógeno, azufre y carbono. A esta particularidad también adscribe la aptitud del planeta Tierra para recuperarse y alcanzar nuevamente el “equilibrio” luego de extinciones masiva o alteraciones climáticas mundiales, como fueron por ejemplo los casos extremos de la llamada “glaciación global” o “Tierra bola de nieve” del periodo Precámbrico (Hoffman, Kaufman, Halverson, & Schrag, 1998). El eje de análisis particular de Margulis (1996, 1998) está puesto en la simbiosis, a la que define como *“el sistema en el cual miembros de diferentes especies viven en contacto físico”*, proceso que no es solo un caso particular de relación entre algunas especies y presente solo en algunos casos, sino más bien una condición mucho más habitual de lo que habitualmente la ciencia biológica lo ha considerado. Pero además la simbiosis es la fuente principal de la variación heredada, mediante la cual se combinan genomas enteros. Se han encontrado algunas evidencias sobre la simbiogénesis y su papel en la construcción de nichos y en la herencia extragenética, ya sea epigenética<sup>13</sup>, adaptación extra genética o plasticidad fenotípica<sup>14</sup> (Dressino, 2019). Estos fenómenos tam-

13 La epigenética (del griego epi, en o sobre, -genética) o epigenómica]es el estudio de los mecanismos que regulan la expresión de los genes sin una modificación en la secuencia del ADN que los compone. Establece la relación entre las influencias genéticas y ambientales que determinan un fenotipo.

14 La plasticidad fenotípica se refiere a cualquier cambio en las características de un organismo en respuesta a una señal ambiental. Es decir, la propiedad de un genotipo de producir más de un fenotipo cuando el organismo se halla en diferentes condiciones ambientales (Pagliucci, Murren y Schlichting, 2006; Whitman y

bién modifican las presiones selectivas de los genomas de los organismos y son más comunes de lo que anteriormente se pensaba. Estas tendencias, junto al estudio del mutualismo, van de alguna manera de contramano con la síntesis evolutiva moderna que hace hincapié en la competencia, lo que ha llevado en algunos casos a la necesidad de incorporar modelos nulos con el objetivo de determinar si los patrones observados son causados por mecanismos ecológicos o evolutivos (conocidos o no), o tan sólo por el azar (Gotelli y McGill, 2006).

#### Bibliografía

ACOT, Pascal: **Introducción a la ecología**. México, Nueva Imagen, 1977.

ACOT, Pascal.: **Histoire de l'écologie**. Paris, Presses Universitaires de France, 1988.

ARRHENIUS, Svante: *On the influence of Carbonic Acid in the Air upon the Temperature of the Ground*. **Philosophical Magazine**, 41: 237-275, 1896.

BAKER, P.: *The Application of Ecological Theory to Anthropology*. **American Anthropologist**, vol. 64, nº 1, part 1, 1962.

BATESON, Gregory: **Pasos hacia una ecología de la mente**. Buenos Aires, Carlos Lohlé-Planeta, 1991 (1972).

BATESON, William & W. WILKS (editor): **The Progress of Genetic Research**. Londres, Royal Horticultural Society, 1907.

BERTALANFFY, Ludwig von: **Teoría general de sistemas**. Bogotá, FCE, 1994 (1969).

BOULAINÉ, J.: *Le heritage de Vassili V. Dokuchaev*. **Science du sol, Bull. de l'Afes**, 2, 1984, pp. 97.

BOULDING, Kenneth: *The Economics of the Coming Spaceship Earth. Resources for the Future*. En, H. Jarrett (ed.), **Environmental Quality in a Growing Economy**, pp. 3-14. Baltimore, 1966.

BUCKMINSTER FULLER, Richard: **Operating Manual for Spaceship Earth**. Southern Illinois University Press, 1969.

BUDYKO, Mikhail: **Global'naya Ekologiya**. Moscú, 1977

CALZETTA, Esteban: **Entropía**. Buenos Aires, INET, Ministerio de Educación de la Nación, 2009.

CARLSON, Rachel: **Silent Spring**. Boston, Houghton Mifflin, 1962.

CLAUSIUS, Rudolph: *On the Moving Force of Heat, and the Laws regarding the Nature of Heat itself which are deducible therefrom*. **Philosophical Magazine and Journal of Science**, volume II, fourth series, pp. 102–119, 1851.

CLAUSIUS, Rudolph: *Ueber verschiedene für die Anwendung bequeme Formen der Hauptgleichungen der mechanischen Wärmetheorie*. **Annalen der Physik**, 125 (7): 353–400, 1865.

CLEMENTS, VORHIES & TAYLOR: **Principles and methods of bioecology**. Carnegie Institution of Washington Year Book, Washington DC, 1923.

COMMONER, Barry: **Ciencia y supervivencia**. Barcelona, Plaza & Janés, 1970 (1966).

DELÉAGE, Jean Paul: **Historia de la ecología. Una ciencia del hombre y la naturaleza**. Montevideo, Icaria-Nordan, 1993.

DOKUCHAEV, Vassili: **Russkij Chernozem**. Sankt Petersburg, 1883.

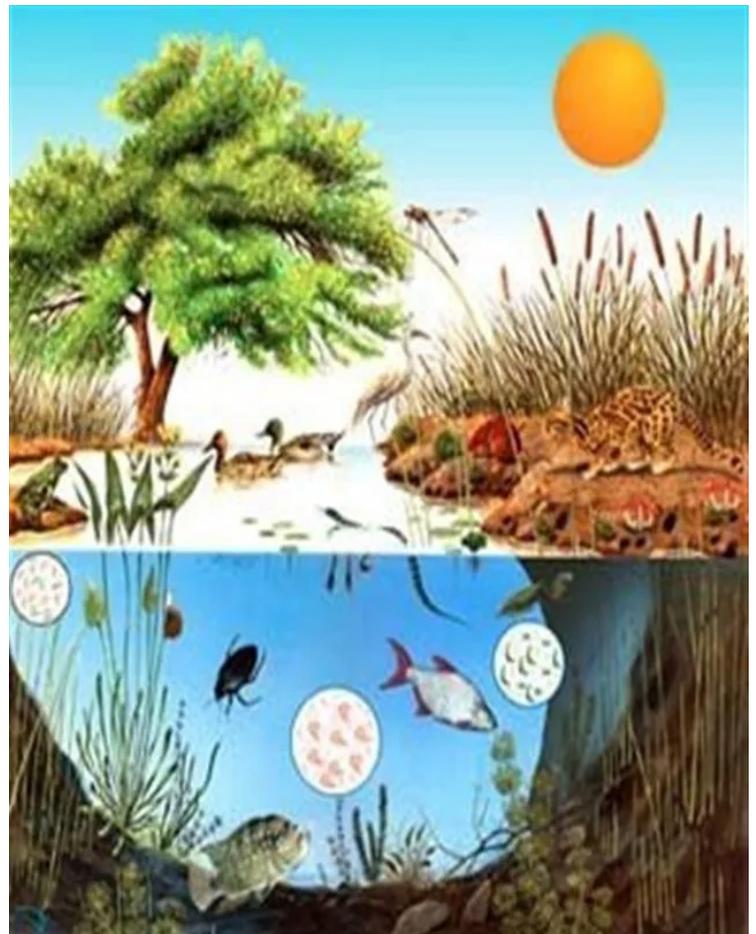
DRESSINO, Vicente: *Niche construction and extra-genetic adaptation: Their roles as mechanisms in evolutionary change*. **Ludus Vitalis** 26 (50), pp. 1-15, 2019.

DUBOS, Rene y Barbara WARD: **Una sola Tierra**. México, Fondo de Cultura Económica, 1972.

DUBOS, Rene: **Un animal tan humano**. Barcelona, Plaza & Janés, 1971 (1968).

EHRlich, P. R. y A. H. ERLICH: **Población, recursos y medio ambiente**. Barcelona, Omega, 1975 (1970).

ELTON, C.: **Animal ecology**. Sidgwick & Jackson Lts., 1927.





FOURIER, Joseph: **Mémoire sur les températures du globe terrestre et des espaces planétaires**. 1824  
FUNDACIÓN BARILOCHE: **Modelo Mundial Latinoamericano. Desastre o nueva sociedad**. Fundación Bariloche, 1975.

GALAFASSI, Guido: *Relaciones entre ciencia, tecnología y ambiente. La razón moderna, el problema del desarrollo y el dominio de la naturaleza*. En: Albornoz, Kreimer y Glavich (ed), **Ciencia y Sociedad en América Latina**, Quilmes, UNQ, 1996.

GALAFASSI, Guido: *Dialéctica de lo existente*. **Cuadernos Theomai** nº 9, segundo semestre 2021, [http://criticadialectica.com/wp-content/uploads/2023/09/Cuaderno\\_9-1.pdf](http://criticadialectica.com/wp-content/uploads/2023/09/Cuaderno_9-1.pdf)

GARCÍA, Rolando: *Interdiscipliniedad y Sistemas Complejos*. En E. Leff (Ed.), **Ciencias Sociales y Formación Ambiental** (pp. 85-124). Barcelona, Gedisa, 1994.

GARCÍA, Rolando: **Sistemas complejos: conceptos, métodos y fundamentación epistemológica de la investigación interdisciplinaria**. Barcelona, Gedisa, 2006

GAUSE, G.F.: **Vérifications expérimentales de la théorie de la lutte pour la vie**. Paris, Hermann, 1935.

GOLOVANOV, L.: **L'Admirable Harmonie de la Nature**. Moscú, 1981.

GOTELLI, N. J. & Brian J. MCGILL: (2006-10). *Null Versus Neutral Models: What's The Difference?* **Ecography** 29 (5), pp. 793-800, 2006.

GRINEVALD, Jacques: *L'effect de serre de la Biosphère. De la révolution thermo-industrielle à l'écologie globale*. **Stratégies énergétiques. Biosphère et société**. Ginebra, 1990

GRINEVALD, Jacques: *On a Holistic Concept for Deep and Global Ecology: the Biosphere*. **Fundamenta Scientae**, vol. 8, n. 2, pp. 197-226, 1987.

HAECKEL, Ernest: **Generelle Morphologie der Organismen**. Berlín, 1866 (vol. 1)

HAECKEL, Ernest: **Histoire de la création**. París, 1874.

HAECKEL, Ernst Heinrich Philipp August: **Systematische phylogenie**. Berlin, Georg Reimer, 1894.

HAECKEL, Ernest: *Ueber Entwicklungsgang und Aufgabe der Zoologie*, en: **Jenaische Zeitschrift für Medizin und Naturwissenschaft**, 5: 353-370, 1870.

HAECKEL, Ernst Heinrich Philipp August: **The History of Creation: or the Development of the Earth and its Inhabitants by the Action of Natural Causes. A Popular Exposition of the Doctrine of Evolution in General, and that of Darwin, Goethe, and Lamarck in Particular**. New York, Appelton and Company, 1876)

HARRISON BROWN: *La producción humana de materiales como un proceso en la Biosfera*. En: **Scientific American: La Biosfera**. Madrid, Alianza, 1970.

HOFFMAN, P.F., A. J. KAUFMAN, G.P. HALVERSON, & D.P. SCHRAG: *A Neoproterozoic snowball Earth*. **Science** 281, pp. 1342-46, 1998.

HUTCHINSON, G. Evelyn y G.A. Riley: *The Carbon Metabolism and Photosynthetic Efficiency of the Earth as a Whole*. **American Scientist**, 32, 1944, pp. 129-132.

HUTCHINSON, G. Evelyn: *On Living in the Biosphere*. **Scientific Monthly**, 67, 1948, pp. 393-398.

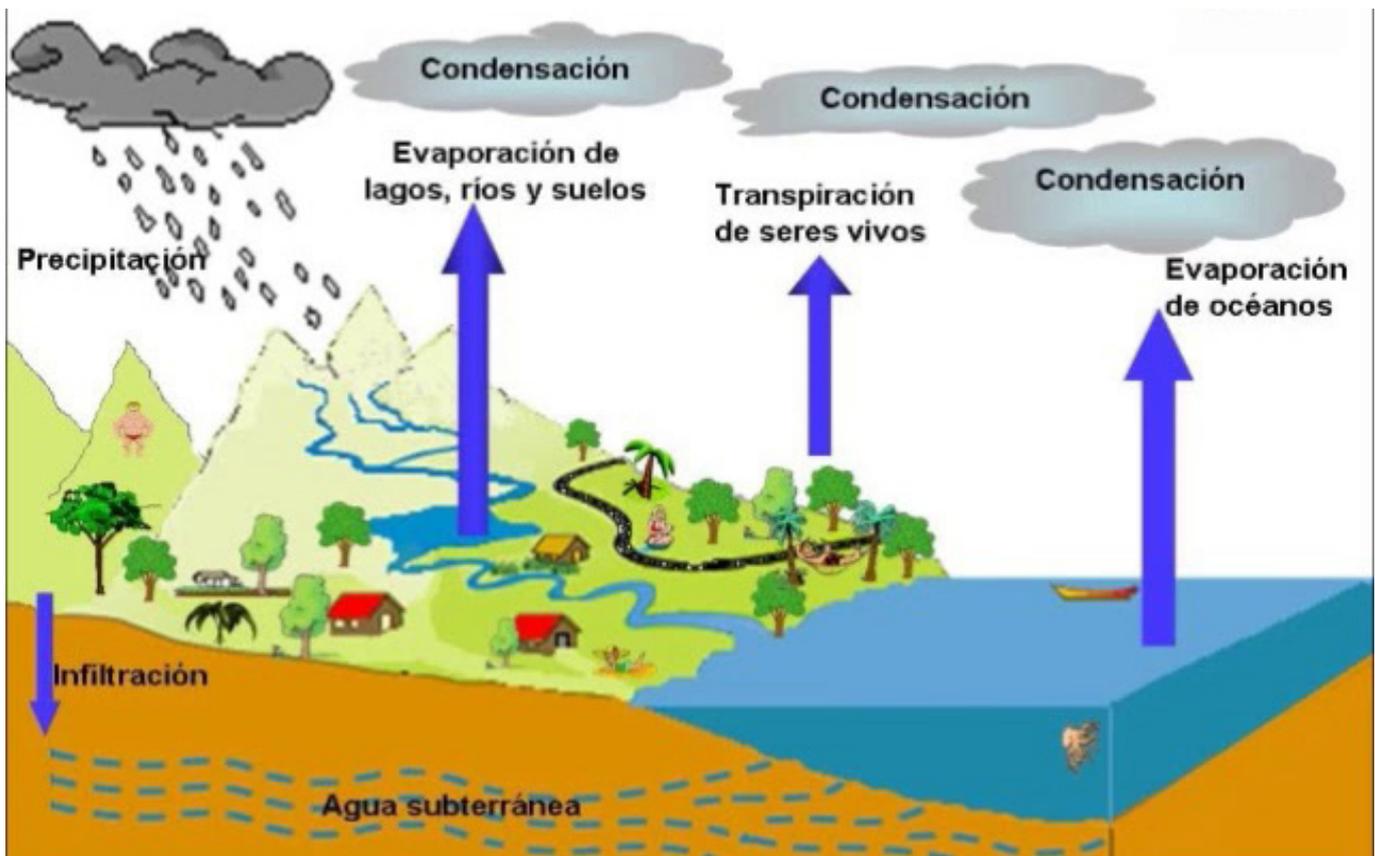
HUTCHINSON, G. Evelyn: *The Biosphère*. **Scientific American**, vol. 223, 3, pp. 45-53; 1970.

HUTCHINSON, G. Evelyn: **The Ecological Theater and the Evolutionary Play**. Yale University Press, 1965.

JUDAY, C.: *Annual energy budget on an inland lake*. **Ecology**, 1940.

KOSTITZIN, A.: *Évolution de l'atmosphère, circulation organique, époques glaciaires*. Paris, Hermann, 1935.

LAMARCK, Jean Baptiste: **Philosophie Zoologique**. Paris, 1809.



LOTKA, A.J.: **Elements of Physical Biology**. Baltimore, Williams & Wilkins Company, 1925.

LOVELOCK, James: **Homage to Gaia**. Oxford University Press, 2000 (edición castellana: Laetoli, Pamplona, 2005)

LOVELOCK, James: **Gaia, a New Look at Life on Earth**. Oxford University Press. 1979 (edición castellana: Blume, Barcelona, 1983)

LUGO, A. & G. MORRIS: **Los sistemas ecológicos y la humanidad**. Washington, OEA, 1982.

MARGALEF, Ramón: **Ecología**. Barcelona, Omega, 1974.

MARGALEF, Ramón: **La Biosfera, entre la termodinámica y el juego**. Barcelona, Omega, 1980.

MARGALEF, Ramón: **Perspectivas de la teoría ecológica**. Barcelona, Blume, 1978.

MARGALEF, Ramón: **Teoría de los sistemas ecológicos**. Alfaomega – Universitat de Barcelona, 2002

MARGULIS, Lynn & Dorian SAGAN: **Microcosmos. Four Billion Years of Evolution from Our Microbial Ancestors**. New York, Summit Books, 1986 (1995, Tusquets Editores).

MARGULIS, Lynn: **The Symbiotic Planet. A New Look at Evolution**. London, Weindenfeld & Nicholson, 1998.

MARGULIS, Lynn; OLENDZENSKI, Lorraine: **Evolución ambiental: efectos del origen y evolución de la vida sobre el planeta Tierra**. Madrid, Alianza Editorial, 1996.

MATURANA, Humberto y Franciso VARELA: **De máquinas y seres vivos: una teoría sobre la organización biológica**. Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 1972

MATURANA, Humberto: **El árbol del conocimiento**. Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 1986.

MÖBIUS, Karl: **Die Auster und die Austernwirtschaft**. Berlín, 1877.

MORAN, Emilio: **Human Adaptability. An Introduction to Ecological Anthropology**. New York, Routledge, 2022.

PIGLIUCCI, M.: *Do we need an extended evolutionary synthesis?* **Evolution**, 61, pp. 2743-2749, 2007.

PIGLIUCCI, Massimo; MURREN, C. J. & SCHLICHTING, C. D. *Phenotypic plasticity and evolution by genetic assimilation*. **The Journal of experimental biology**, 209, 2362-7, 2006. doi:10.1242/jeb.02070

SARMIENTO, Guillermo: **Los ecosistemas y la ecosfera**. Barcelona, Blume, 1984.

SCHRÖDINGER, Erwin: **What Is Life? The Physical Aspect of the Living Cell**. Cambridge University Press, 1944.

SHELFORD, V.E.: *Some concepts of bioecology*. **Ecology**, 1931.

SINGER, S.: *La producción humana de energía como un proceso en la Biosfera*. En: **Scientific American: La Biosfera**. Madrid, Alianza, 1970.

SUESS, Eduard: **Das Antlitz der Erde**. Praga-Viena, 1883-1909.

*systems dynamics*. **Studies in History and Philosophy**

of Biological and Biomedical Sciences, 42, pp. 75-81, 2011.

VERNADSKY, Vladimir: *L'autotrophie de l'humanite. Revue globale des sciences pures et appliquées*, n. 36, pp. 496, 1925

VERNADSKY, Vladimir: **La Biosphère**. Leningrado, Nauka, 1926 (traducción al francés en 1929).

VERNADSKY, Vladimir: **La Géochimie**. Paris, Félix Alcan, 1924.

VOLTERRA, V. y D'ANCONA, U.: **Les associations biologiques étudiées du point de vue mathématique**. Paris, Hermann & Cie., 1935.

Von FOERSTER, Heinz: **Las semillas de la cibernética**. Barcelona, Gedisa, 1991

WATSON, James D. & Andrew BERRY: **DNA: The Secret of Life**. New York, Alfred A. Knopf, 2003.

WHITMAN, Douglas W. & ANURAG A. Agrawal: *What is Phenotypic Plasticity and Why is it Important?* En: Whitman, D.W. y T.N. Ananthakrishnan (Ed.), **Phenotypic Plasticity of Insects: Mechanisms and Consequences**. Science Publishers, pp. 1-63, 2009.

WIENER, Norbert: **Cybernetics: Or Control and Com-**

**munication in the Animal and the Machine**. Paris, Hermann & Cie, 1948.

WORSTER, D.: **Storia delle idee ecologiche**. Bologna, Il Mulino, 1994.

