

La Biodiversidad

Biodiversity

Recibido para evaluación: 27 de Abril de 2011
Aceptación: 21 de Julio de 2011
Recibido versión final: 16 de Agosto de 2010

Luis Jair Gómez Giraldo¹

RESUMEN

La biodiversidad es un suceso ecológico realmente sorprendente en tanto existe una extraordinaria homogeneidad química y bioquímica de base, en todos los seres vivos.

Se considera que se dan por lo menos tres fenómenos que la explican: la evolución darwiniana, es decir, la evolución ramificada; el «acoplamiento estructural» según lo define H. Maturana; y, por último, los fenómenos termodinámicos, tal como los expone S. Kauffman con apoyo en los conceptos de “organización” y “organización propagativa diversificadora”, y los interpretan E. D. Schneider y J. J. Kay a partir de la Tierra como sistema termodinámico.

Su importancia explicativa en la crisis ambiental, manifiesta entre otros sucesos en el calentamiento global, es de gran relevancia.

Palabras claves: Biodiversidad, heterogeneidad, crisis ambiental, calentamiento global.

ABSTRACT

Biodiversity is a really surprising ecological event, as long as there is an extraordinary chemical and biochemical homogeneity at the very foundation of all living beings.

It is believed that there are at least three phenomena that may explain it: Darwinian evolution, that is a kind of ramifying evolution; “structural coupling”, as defined by H. Maturana; and, finally, thermodynamical phenomena, as presented by S. Kauffman leaning on the concepts of “organization” and a “propagating organization that diversifies”, and they are all interpreted by E. D. Schneider and J. J. Kay from the idea of Earth as a thermodynamical system.

The explanatory importance of this idea in the current environmental crisis, evident in other events such as global warming, is of great relevance.

Key words: Biodiversity, heterogeneity, environmental crisis, global warming.

1. Profesor Titular, Maestro Universitario. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
jairgomez@une.net.co

Más allá del sorprendente sentimiento estético que en nosotros despierta la policromía, la polifonía y la poliforma de la biodiversidad, ésta tiene un impresionante peso en la dinámica inherente al ecosistema planetario.

1. INTRODUCCIÓN

En los medios escritos, hablados y virtuales de hoy, las expresiones medioambiente, sostenibilidad ambiental, desarrollo sostenible, contaminación, cambio climático y biodiversidad compiten con las de crisis económica, desarrollo y progreso. Esto no es casual: ambos campos de preocupación diaria, están íntimamente relacionados.

Sin embargo, mientras el tema de la “crisis ambiental” aparece con un gran ímpetu en los últimos cincuenta años, los de “progreso” y “desarrollo económico” vienen desde la “Modernidad” y toman su mayor auge en los últimos doscientos cincuenta años como fruto de la llamada revolución industrial que pareció darle toda la razón al sueño de dominio de la naturaleza, lo que se constituyó en el núcleo del pensamiento de esa modernidad consagrado en la expresión linneana *Homo sapiens sapiens* (Hombre doblemente sabio), para referirse al humano como especie distinguible por su superioridad intelectual sobre los demás animales reconocidos, por contraste, como *brutus*.

Un tema recurrente en la literatura filosófica había sido, hasta la mitad del siglo XX, el de ubicar al hombre en el conjunto de la naturaleza; se concluía generalmente que el hombre estaba situado, merced a su extraordinario desarrollo cerebral, por fuera y por encima del resto del mundo vivo, pensamiento refrendado por la mayoría de las religiones occidentales que sostienen que Dios ha puesto la naturaleza al servicio del hombre. Ya Lewis Thomas lo había señalado con otras palabras para referirse a la apreciación que el hombre tiene de sí mismo a tono con esta idea de especie dominante sobre la Tierra: la de ser “el pináculo de la evolución, el éxito biológico más sorprendente que va a permanecer aquí para siempre”¹.

Con tal pretensión el hombre ha desarrollado una civilización, inicialmente en Occidente, en la cual domina la “cultura del capitalismo”, centrada en tres características: el individualismo, más aún, hiperindividualismo; la Tierra como fuente de recursos para la producción económica; y la acumulación como objetivo de la actividad económica. En los últimos decenios, la manifestación, cada vez más clara, de la “crisis ambiental” ha llamado a la reflexión sobre el papel que ese sentimiento de superioridad de la humanidad y ese proyecto de acumulación económica del individuo fruto y causa del “progreso” han jugado en esa crisis, moviéndonos a pensar que lo que se está viviendo, más allá de una “crisis ambiental”, a una “crisis civilizatoria” que algunos autores caracterizan como la “sociedad del riesgo” y que bien puede ser la *sociedad del miedo*, desde que las catástrofes ambientales destruyen pueblos bajo la mirada impotente y el miedo reflejado en los rostros de los damnificados.

El gran avance en las técnicas mecánicas durante los últimos tres siglos ha mostrado una particularidad: la homogeneización inherente al proceso técnico que lo ha llevado desde lo empírico a la tecnociencia, haciéndolo cuantificable por lo repetible. Se crean así un sinnúmero de profesiones técnicas a partir de un cuerpo “universal” de conocimientos. El gran éxito de estos procesos que han aumentado el orgullo del hombre como aparente dominador de la naturaleza, lo movió a intervenir el mundo orgánico, por las mismas convicciones hasta llevarlo a lo que se ha denominado el “modelo industrial” aplicado a la agricultura. Esto ha conducido a la creencia de que el hombre puede orientar la evolución biológica. Este “modelo industrial” aplicado a la agricultura busca lograr una producción agraria de gran predictibilidad mediante un buen conocimiento del genoma a partir del estudio de las características fenotípicas que se van repitiendo a través de varias generaciones, y de la aplicación del “modelo industrial” en condiciones de un entorno con características preestablecidas constantes. De esta manera se supone que las diferencias que se expresan en el fenotipo se corresponden con variaciones en el genoma, y que reconocidas ellas, es posible entrar a homogeneizarlas de forma tal que se acomoden a las “preferencias del mercado”.

Este tipo de fenómenos, tanto en lo inerte como en lo vivo, hizo posible un antiguo sueño de la humanidad íntimamente relacionado con su aspiración al dominio sobre la naturaleza: el control de la enfermedad y la muerte. Los avances de la medicina durante la modernidad con el conocimiento de la anatomía, la fisiología, la bioquímica y la microbiología, además de los logros formidables en el plano instrumental, generaron una extraordinaria expansión de la especie *Homo sapiens sapiens*. En realidad, ambos avances, el del mundo mecánico- orgánico y el del mundo demográfico, son efecto de profundas

1. L. Thomas. 1995. Presentación del libro “Microcosmos” de L. Margulis y D. Sagan. Tusquets Editores.

interdependencias, pero ambos operan en contra de la biodiversidad, en tanto la tierra no es un espacio expansible, y, en consecuencia, necesariamente se da un fenómeno de sustitución de la naturaleza originaria biodiversa por la naturaleza artificializada homogeneizante.

El acontecimiento de la naturaleza originaria en su proceso evolutivo inherente a su dinámica lleva aparejada una transformación correlativa de la físico- química de la Tierra, lo cual significa en sistémica, un “acoplamiento estructural” entre entorno y biosfera; pero al desarrollar la naturaleza viva artificializada dentro de un entorno inerte también artificializado, indefectiblemente se provoca un desarreglo de ese “acoplamiento estructural” ser vivo- entorno; todo lo cual constituye parte importante de la “crisis ambiental” de la que tan cotidianamente se habla.

Se entiende entonces que la actitud humana de homogeneización de buena parte de los seres vivos, que opera en contra de la diversidad inherente a la Biosfera dada la heterogeneidad de su entorno, está en el centro de la “crisis ambiental”. Pero además se entiende que la situación actual humanidad- entorno se ha ido produciendo a lo largo del tiempo en que el hombre ha habitado la Tierra, y ello ha generado un alto nivel de desarreglos, que inicia procesos complejos e inciertos y pone a la humanidad en grave riesgo.

2. LA APARICIÓN DE LA VIDA EN EL PLANETA.

Se considera que el universo se formó hace unos 15.000 a 25.000 millones de años por acción del *Big Bang*, esa gran explosión del polvo cósmico, que generó el complejo proceso de reordenamiento de las partículas, que permanentemente está ocurriendo desde ese entonces y que forma el sistema solar hace unos 4.500 millones de años, en el que se hizo reconocible al planeta Tierra como una gran bola de fuego que fue enfriándose en la superficie mediante la disipación de gran parte de su energía calórica, mientras en el interior se sucedían profundas transformaciones físico- químicas.

Después de un proceso de decaimiento radioactivo que genera nuevos elementos que no estaban presentes en la nebulosa inicial y que liberan gran cantidad de calor, los nuevos planetas van adquiriendo sus particulares formas y características. En el caso de la Tierra, se forma un compuesto volátil muy abundante, el agua, que cubre tres cuartas partes de la superficie en forma líquida con una profundidad media de cuatro mil metros; viene luego el carbono en forma de CO₂, y por último N₂, además de una proporción menor de otros gases. Estas características se deducen de las propias de Marte y Venus que están localizados antes y después de la Tierra en dirección hacia el Sol. Sin embargo la situación actual muestra unas grandes diferencias en estas tres atmósferas que no pueden explicarse a partir de la ley química de la tendencia de los elementos a combinarse hasta alcanzar el estado de mínima energía potencial.

La explicación de esa notable diferencia en la composición de la atmósfera terrestre con respecto a la de Venus y Marte, es la presencia de la vida, lo que introduce un elemento completamente novedoso que es interpretado por W. I. Vernadsky como un componente que se incorpora al conjunto de la atmósfera terrestre configurando una nueva unidad – la Biosfera- responsable de grandes transformaciones sobre la faz de la Tierra. Cuando se habla de la Biosfera se está haciendo referencia “al conjunto de la troposfera atmosférica, los océanos y la delgada capa de la superficie de las regiones continentales que se extiende tres kilómetros o más” (W. I. Vernadsky², 1945). En otro texto³ publicado originalmente en 1926, este autor escribe: “la capa exterior de la tierra tiene, entonces, que ser considerada no simplemente como una región de sólo materia, sino también como una región de energía y una fuente de transformaciones del planeta”. En otras palabras, lo han señalado de igual forma Margulis y Sagan (1996)⁴ cuando escriben: “a despecho de la gramática, la vida no es que exista *sobre* la superficie de la Tierra, sino que es la superficie de la Tierra”.

En este orden de ideas es explicable que la Biosfera sea autopoiética en cuanto se mantiene y regula así misma. A partir del reconocimiento de la “anormalidad bioquímica” de la atmósfera terrestre, tiene todo el sentido la afirmación de J. Lovelock (1996)⁵ de que la Tierra, mejor “Gaia”, es “un sistema de regulación biológica que (ha) estado y está trabajando, asegurando una homeostasis planetaria a nivel químico y físico adecuada para la biota global en un tiempo determinado”.

Pero la Biosfera tuvo naturalmente un origen cuyo proceso ha sido objeto de múltiples estudios en los que se empieza por simular lo que debió ser la atmósfera abiótica de la Tierra. Se conoce un

Table 1. GIS Use in Vulnerability Impacts Assessment

2. W. I. Vernadsky. 1945. The Biosphere and the Noosphere. American Scientist. Vol. 33 (Nº1): 1- 12.

3. W. I. Vernadsky. 1997. The Biosphere. Copernicus. Spinger-Verlag. N. Y. p. 44.

4. L. Margulis y D. Sagan. 1996. ¿Qué es la vida? Tusquets editores. Barcelona. p. 28.

5. J. E. Lovelock. 1996. La hipótesis Gaia. En “Evolución Ambiental”. Editado por L. Margulis y L. Olenzenski. Alianza editorial. Madrid. p. 317.

poco más del centenar de elementos químicos en la Tierra, que en realidad varían muy poco con los del resto del universo conocido. De estos elementos, alrededor de veintiocho, se cree, entran en los compuestos fundamentales de los seres vivos que pueden agruparse en cuatro clases: carbohidratos, grasas, proteínas y ácidos nucleicos. Los dos primeros están compuestos exclusivamente de Carbono, Hidrógeno y Oxígeno; las proteínas constan de los tres elementos anteriores más Nitrógeno y en algunos casos Azufre. Los ácidos nucleicos que son sólo dos, el Ácido ribonucleico (ARN) y el Ácido desoxirribonucleico (ADN), contienen Carbono, Hidrógeno, Oxígeno, Nitrógeno y Fósforo.

Cuando se observa la diversidad en los seres vivos, tan fácilmente constatable, es realmente sorprendente saber que la base química homogénea y común a todos ellos sin excepción es una de las características más notables. En efecto, si se excluye el Fósforo, los otros cuatro elementos comunes a los cuatro compuestos básicos de los seres vivos, constituyen el 99,5% de la biosfera.

Desde 1953, se vienen realizando distintos experimentos a nivel de laboratorio que simulan las condiciones físico- químicas de la Tierra primitiva, y ha sido posible obtener el llamado “caldo prebiótico” que contiene los que pudieron ser los precursores de las formas primitivas de vida. En una atmósfera de metano, amoníaco y agua sometida a radiación ultravioleta, descargas eléctricas y radiación ionizante fue posible obtener precursores como el ácido cianhídrico y el formaldehído que, a su vez, pueden dar origen a otros componentes más complejos como ácidos nucleicos y proteínas; el ácido cianhídrico da las bases, el formaldehído da los azúcares y juntos dan los aminoácidos.

Este complejo proceso inicial, ocurrido en forma espontánea sobre alguna parte de la superficie de la Tierra, empieza a modificar la atmósfera del Planeta de forma tal que hoy no parece que se pueda repetir el fenómeno, en tanto tales circunstancias se han modificado profundamente, y es, precisamente esa vida originaria, representada en formas vivas muy sencillas comparativamente a las actuales, pero muy complejas cuando los referentes son los compuestos inorgánicos de su tiempo, la que inició un proceso permanente de transformación atmosférica, la que a su vez, en forma de servomecanismo, fue también modificando a los organismos vivos.

Ese primer esbozo de vida, probablemente inexistente en la actualidad, fue recogido en palabras y universalizado maravillosamente por Margulis y Sagan (1996)⁶: “la vida es una exuberancia planetaria, un fenómeno solar. Es la transmutación astronómicamente local del aire, el agua y la luz que llega a la Tierra, en células”.

Esos primeros seres de los que apenas se tiene una inferencia de lo que fueron, pudieron replicarse y diseminarse hacia el futuro cuando llegaron a tener tres características fundamentales: autonomía, autopoiesis y reproducción. La autonomía implica que sean seres discretos, reconocibles espacialmente; la autopoiesis significa que sus componentes sean producidos por ellos mismos mediante procesos de transformación generados en los mismos procesos que los producen (Maturana y Varela, 1994)⁷; la reproducción implica que se puedan replicar en descendencia similar para sustituir a los que entran en decadencia y muerte, y para expandir su población.

Para los procesos de autopoiesis y reproducción, estos seres vivos tienen que disponer de una organización como sistema abierto que, mediante estructuras disipativas, capte elementos o compuestos químicos y energía del entorno para mantener su dinámica inherente, y expulse hacia el entorno, la materia y energía degradadas en sus procesos. Es claro entonces que la vida como desarrollo sólo se puede entender dentro de un entorno adecuado con el cual se interactúa exitosamente si se ha logrado establecer lo que Maturana ha denominado el “acoplamiento estructural”. Sin embargo en esa interacción se dan necesariamente transformaciones en uno y otro (ser vivo y entorno), y sólo esos cambios estructurales en la organización de lo vivo, va manteniendo una “homeorhesis⁸” * que garantice la continuidad del desarrollo de la unidad viva y la posibilidad de la permanencia y expansión en el tiempo de la población mediante la reproducción. Esos cambios, fruto de esa interacción entre ser vivo y entorno, es lo que C. Darwin llamó “evolución mediante la selección natural”, y esta capacidad evolutiva fue, seguramente, una condición imprescindible para que floreciera y se diversificara la vida a partir de un organismo vivo primitivo. Quizás esta condición *sine qua non* explique la forma tajante con la que Margulis y Sagan (1995)⁹ han reconocido el punto de partida de la vida en la Tierra: “En algún momento, hace ya más de 3.500 millones de años, la marea evolutiva alcanzó el nivel de la vida tal como ahora la conocemos, la de la célula limitada por una membrana, con 5.000 proteínas, utilizando el RNA como mensajero y gobernada por el DNA. Cuando la autopoiesis aseguró su existencia y la reproducción garantizó su expansión, la evolución inició su camino. Había empezado el microcosmos de la Tierra, la Edad de las Bacterias”.

6. L. Margulis y D. Sagan. 1996. Opus cit., p. 49.

7. H. Maturana R. y F. Varela G. 1994. De máquinas y seres vivos. Autopoiesis: la organización de lo vivo. Editorial Universitaria. Santiago de Chile. P.

8. Homeorhesis: término utilizado por C. H. Waddington para referirse a un “cambio estabilizado”, y diferenciarlo así de la “homeostasis” que hace referencia al mantenimiento constante del valor de parámetros biológicos. (C. H. Waddington. 1976. Las ideas básicas de la biología. En “Hacia una biología teórica”. Edit. Por C. H. Waddington y otros. Editorial Alianza. Madrid. P. 31).

9. L. Margulis y D. Sagan. 1995. Microcosmos. Tusquets editores. Barcelona. P. 82.

Ya se ha indicado cómo, de la materia inerte, surge la vida con el aporte de la energía solar, y una vez se ha establecido en su dinámica plena, se va transformando la química atmosférica. Uno de los cambios más notables en el aspecto físico, fue la estabilización de la temperatura. Lovelock¹⁰ considera que “la evidencia más importante de la existencia de Gaia es la constancia de la temperatura media de la Tierra a través del tiempo”, y atribuye este fenómeno a un aumento de la presión atmosférica en aproximadamente un 10%, lo que implicaría unos 4°C de mayor temperatura. Este cambio de presión fue provocado aparentemente por procesos biológicos que hacen reaccionar el oxígeno con el nitrógeno y de esta manera retirar de la atmósfera cerca de un 20% de éste, que es llevado luego al océano en forma de ión nitrato al hacer reaccionar el oxígeno liberado por fotólisis del agua o del CO₂, y formarse así óxidos nitrosos. Recuérdese que el nitrógeno es fijado en proteínas y aminoácidos y degradado en el metabolismo a amoníaco (NH₃), el que a su turno es oxidado a nitritos (NO₂) y nitratos (NO₃) que reciclan a través de distintos seres vivos, bacterias, plantas, hongos y animales.

10. Opus cit., p.p. 317 y ss.

La dinámica atmosférica no permite compartimentación alguna. Todos los gases, incluyendo el vapor de agua, se mezclan siguiendo las leyes químicas, la ley de masas y con el concurso de la radiación solar, y en esta dinámica, la biosfera juega un importante papel. Podría decirse que sólo es alterada en razón de la cantidad diferencial de radiación solar que llega a la superficie de la Tierra a causa de la traslación del planeta alrededor del sol y la rotación sobre su propio eje; lo que introduce importantes diferencias al norte y sur de la franja intertropical, de acuerdo con las latitudes, o dependiendo de las altitudes sobre el nivel del mar en las zonas tropicales y subtropicales. (Ver: figura 1)

Esos seres que surgen espontáneamente en tanto no provenían de un proceso reproductivo, fueron realmente los primeros, pero hasta que no lograron el nivel de autopoiesis y capacidad reproductiva, no alcanzaron la calidad de vivos. Sin embargo, hay que tener presente que esta organización, ya muy compleja de materia orgánica, estuvo precedida de la formación también espontánea de material prebiótico, esto es, de materia prima para la vida. Después de la formación de estos seres vivos primitivos, se inicia ese proceso formidable de su acoplamiento estructural con el entorno, en respuesta, precisamente, a las modificaciones que la incipiente biosfera generaría en su entorno. Ahí mismo, como secuela de ese mismo proceso de interacción ser vivo/entorno surge la biodiversidad. En ese contexto primitivo, se dan entre muchos, dos fenómenos de gran trascendencia. En primer lugar, la obtención de materia y energía del entorno utilizable para las necesarias autopoiesis y reproducción, lo que implica disponer de una capacidad autotrófica, esto es, obtener por sí mismo la alimentación necesaria a partir de sustancias inorgánicas.

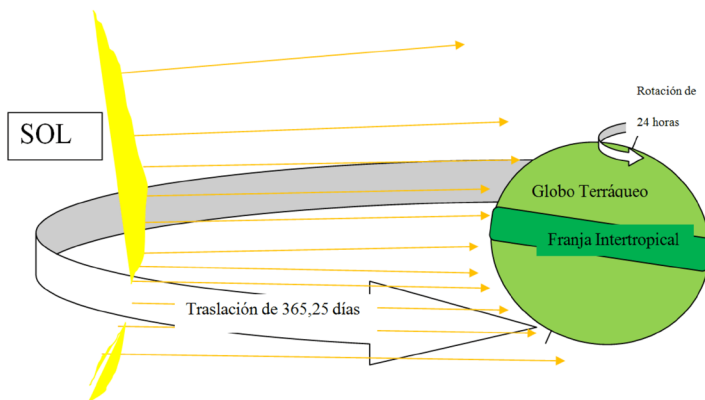


Figura 1. Características termodinámicas de la Tierra

La forma inicial es mediante procesos de fermentación -descomposición- de carbohidratos disponibles en el entorno inmediato; es lo que se reconoce actualmente como quimioautotrofismo. Se supone que los compuestos orgánicos energéticos disponibles se hacían escasos ante la capacidad reproductiva de los microorganismos.

Luego, en ese proceso evolutivo, surge un nuevo tipo de organismo que podía utilizar directamente la radiación solar de onda media (400 – 700 nm) como fuente de energía transformable en enlaces químicos acumulables en su organismo. Es el nuevo grupo de autótrofos que se denominan actualmente los fotoautótrofos. Con razón Margulis y Sagan (1996)¹¹ señalan al respecto que “la innovación metabólica más importante en la historia del planeta fue la evolución de la fotosíntesis”.

Debe advertirse que el proceso evolutivo biológico no es lineal y con el sentido del progreso tal como se entiende en el lenguaje humano tradicional, sino que se trata de transformaciones en “acoplamiento” con el entorno, y como el entorno no es uniforme ni estático, lo que en realidad se genera es formas nuevas que no necesariamente sustituyen a las anteriores, sino que colonizan entornos nuevos o despoblados de vida. Puede decirse entonces que la biodiversidad es fruto de una evolución ramificada -no lineal- de la biosfera, pero que responde más que a un proceso inherente, a uno de interacción biosistema/entorno; pero además, que el concepto de “progreso” es una idea que no cabe en un proceso de esta naturaleza, en tanto no se trata de una categoría humana de ascenso jerárquico, sino de una expansión ramificada y espontánea de la biosfera hacia entornos disponibles.

El fenómeno de la fotosíntesis generó paralelamente otra transformación fundamental, la liberación a la troposfera de gran cantidad de oxígeno molecular (O_2), al llevarlo desde niveles trazas hasta un 21%. Esta gran transformación se produjo porque al hidrógeno libre de la atmósfera o al obtenido a partir del sulfuro de hidrógeno (H_2S) y los carbohidratos como la glucosa ($C_6H_{12}O_6$) se le sumó el hidrógeno del agua que fue utilizado por microorganismos primitivos para la construcción del material orgánico, para el soma y la dinámica funcional, que nuevos microorganismos surgidos a partir de aquellos en el proceso evolutivo en un entorno acuático que permitía el ingreso de la radiación solar, pudieron obtener, mediante la descomposición del agua (H_2O), lo cual suelta Oxígeno libre a la atmósfera en forma molecular (O_2). Era el nuevo grupo de las cianobacterias que se han diversificado a tal punto que se reconocen actualmente más de diez mil géneros clasificados, ampliamente difundidos en el planeta.

Esta transformación creciente de la biosfera Vernadskiana, con un contenido en proporciones en aumento, de un tóxico como el Oxígeno cuando sobrepasa ciertos niveles, estimuló, por supuesto, nuevas orientaciones evolutivas y mantuvo en niveles restringidos, la anterior población anaeróbica que aún prolifera en nichos adecuados privados de O_2 .

Este formidable microcosmos que iría paulatinamente, durante miles de millones de años, creando una biosfera cada vez más extendida y fortalecida, tendría otra gran orientación evolutiva. Se trata de la endosimbiosis, un fenómeno que en palabras de Margulis y Sagan (1995) es la transición biológica “realmente más espectacular que se da en toda la biología”, puesto que genera células nuevas con su máquina reproductiva claramente distinguible mediante una membrana que separa en forma inequívoca el núcleo del resto del protoplasma. Se llamarán entonces células verdaderas o eucariotas, para distinguirlas de sus predecesoras las procariontes, que configuran el mundo bacteriano o reino *Mónera*.

Se trata de un aumento de la complejidad en la organización de los seres vivos con células con núcleo o eucariotas, es decir, aquellas que constituyen los hongos, animales, plantas y protoctistas, y que han derivado de comunidades microbianas fuertemente integradas entre sí, esto es, las células eucariotas evolucionaron a partir de las bacterias, pero no directamente. Con esto, se quiere significar que algunas bacterias simples, como seres vivos autosuficientes, hicieron simbiosis¹² en serie con otros miembros de especies diferentes que le proporcionaron a una célula inicial tres clases de orgánulos -undulipodios, mitocondrias y plásticos- que al integrarse en un único organismo -un eucariota- por endosimbiosis, genera diferentes funciones antes dispersas en otros: undulipodios para la movilidad, mitocondrias para el aprovechamiento de la energía y, plástidos para la fotosíntesis.

De ahí en adelante seguirá una evolución hacia muy diferentes formas de organización de seres vivos que se irán diversificando morfológicamente en millones de posibilidades. Si nos atenemos a la cronología de Margulis y Sagan (1966)¹³, se puede trazar el siguiente cuadro:

11. Opus cit., p. 78.

12. La “simbiosis se define simplemente como la asociación física a largo plazo de organismos que son miembros de diferentes especies”. (L. Margulis, 1996. Teoría de la simbiosis: las células como comunidades microbianas. En “Evolución ambiental”..... p.157).

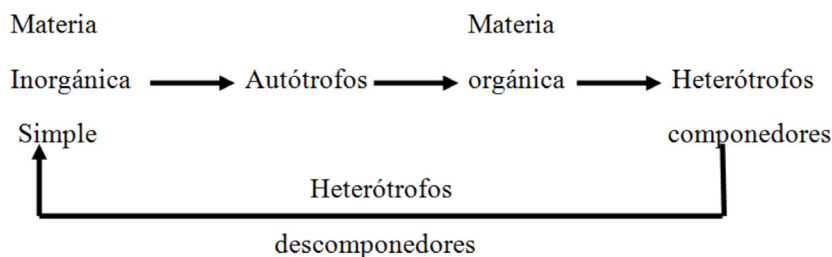
13. ¿Qué es la vida?, Opus cit.

- 3.900 millones de años. Eón Arquense, aparece el primer reino: *Moneras*.
- 1.700 millones de años. Eón Proterozoico, aparece el segundo reino: *Protoctistas*. (Eucariotas).
- 600 millones de años. Eón Proterozoico, aparece el tercer reino: *Animales*.
- 500 millones de años. Eón Fanerozoico, aparecen los reinos cuarto y quinto: *Plantas* y *Hongos*.
- 4 millones de años. Eón Fanerozoico, aparecen los ancestros humanos.

2. HOMOGENEIDAD Y HETEROGENEIDAD EN LA BIOSFERA

A partir de la muy sumaria presentación anterior sobre el origen y curso inicial de la vida primitiva, pueden señalarse dos características fundamentales, aparentemente contrapuestas, presentes en la Biosfera: la homogeneidad bioquímica y la heterogeneidad funcional, relacional y morfológica.

El fenómeno de la vida presenta una asombrosa homogeneidad bioquímica y metabólica de base, que claramente explica la posibilidad de la evolución entendida como el proceso de transformación que da cuenta de la gran diversidad en la morfología de los seres vivos que se ramifican a partir de un solo ser vivo inicial que se va expandiendo para penetrar nuevos entornos que inducen a una gran diversificación de la complejización funcional y relacional del ser vivo, al ir integrándose en comunidades de bacterias primero (la endosimbiosis), de células luego (organismos multicelulares), y de tejidos y de órganos posteriormente. Sin embargo y a pesar de que se conserve la homogeneidad de esa base bioquímica y metabólica, los nuevos entornos promueven en los seres vivos, procesos evolutivos que incorporan nuevas formas de apropiación de la materia inespecífica externa para el metabolismo intermedio. Surgen entonces inicialmente, los microorganismos autótrofos¹⁴ y, a partir de estos mismos, los heterótrofos¹⁵ que en la red metabólica de la biosfera hacen una integración formidable, puesto que los segundos dependen de los primeros y éstos a su vez de los segundos en un proceso circular, (ver: figura 2); conviene anotar además que dentro de los autótrofos se dan, por evolución, dos ramas de acuerdo a la forma de obtener la energía para la síntesis de la materia orgánica específica: los quimioautótrofos¹⁶ y los fotoautótrofos¹⁷. El autotrofismo, ya sea por vía de ruptura de enlaces químicos de compuestos inorgánicos u orgánicos inertes, mediante fermentación -quimioautotrofismo- o por vía de captación de la energía radiante del sol mediante fotosíntesis -fotoautotrofismo-, es la forma en la que los seres vivos autótrofos, incorporan energía externa al interior del organismo, convirtiéndola en energía de enlace químico, única forma energética funcional en el metabolismo interior de cualquier ser vivo. Es desde este punto, que se desprende luego, mediante la evolución biológica, el heterotrofismo que consiste en que estos seres vivos -heterótrofos- obtienen la energía a partir de compuestos orgánicos previamente construidos por los autótrofos, ya sean quimio o fotoautótrofos.



Como ya se había señalado, todos los seres vivos están compuestos por cuatro tipos de sustancias orgánicas, pero cabe anotar que las proteínas, complejos bioquímicos de gran tamaño molecular, están constituidas por unas subunidades, los aminoácidos, que son sólo veinte y todos levógiros dentro de la vida, a pesar de que en la naturaleza inerte pasan de cincuenta los detectados y existen tanto levógiros como dextrógiros; estos aminoácidos también compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno, contienen además nitrógeno y en algunos casos azufre.

Los carbohidratos y los lípidos constituyen la fuente central de la energía para la funcionalidad del ser vivo, aunque también pueden participar en menor grado las proteínas. Es punto para insistir

14. Autótrofo: (del gr. Autos = por sí mismo, y trofos = nutrición) Seres vivos cuyo metabolismo intermedio se da a partir de materia inorgánica, o de materia orgánica de origen en procesos fisicoquímicos no biológicos.

15. Heterótrofos: (del griego heteros = desigual) seres vivos cuyo metabolismo intermedio se da a partir de materia orgánica de origen en procesos biológicos.

16. Quimioautótrofos: seres vivos autótrofos cuya fuente externa de energía proviene de la ruptura de los enlaces químicos de los átomos que conforman las moléculas inorgánicas del entorno.

17. Fotoautótrofos: seres autótrofos cuya fuente externa de energía proviene de la luz solar de onda media, transformada a energía de enlace químico, mediante el proceso de fotosíntesis.

Figura 2. Proceso circular de Autótrofos a Heterótrofos.

que la vida no funciona sino con energía de enlace químico y de esta manera la ruptura química de enlaces covalentes entre los compuestos de carbono, hidrógeno y oxígeno (carbohidratos, lípidos y proteínas) proporcionan la energía para el funcionamiento celular. Si bien se entiende que además de los quimioautótrofos, existen fotoautótrofos y que éstos, a diferencia de los primeros toman la energía del sol, esta energía sólo se integra a la funcionalidad de la célula una vez se transforma de energía radiante exosomática a energía de enlace químico endosomática.

Como la energía para el funcionamiento del ser vivo no puede ser calórica, existe en toda la naturaleza viva un compuesto que funciona repetidamente como una unión reactiva común entre procesos endergónicos y exergónicos, que es el trifosfato de adenosín (ATP) que, al disociar el fosfato terminal y transformarse en difosfato de adenosín (ADP), libera energía que queda disponible para realizar trabajo bioquímico. Esto se convierte entonces, en un proceso circular incesante que capta energía como ATP (de carbohidratos, lípidos o proteínas) y libera mediante la ruptura del enlace fosfórico para quedar en ADP, y componer así moléculas de otro tipo. $\text{ATP} \rightarrow \text{ADP}$ (~ es el signo para la energía libre). De esta manera compuestos no específicos de la alimentación pueden ser incorporados al organismo para sintetizar otros, éstos sí específicos. Esta transformación de unas moléculas inespecíficas en otras específicas es lo que se conoce como metabolismo intermedio y se lleva a cabo mediante un conjunto de reacciones bioquímicas básicas comunes a toda la red de seres vivos con las que se hace posible el desarrollo, el crecimiento y la división celular. De ahí que se denomine a este conjunto “la unidad de la bioquímica”.

El fenómeno de la herencia generacional y el desarrollo individual del ser vivo es posible merced a una molécula compleja denominada gene, portadora de información, también común a todos los seres y a su vez constituida por pequeñas moléculas conocidas como nucleótidos (Adenina, Timina o Uracilo, Guanina y Citocina) que se entrelazan configurando lo que se ha llamado la Doble Hélice del DNA.

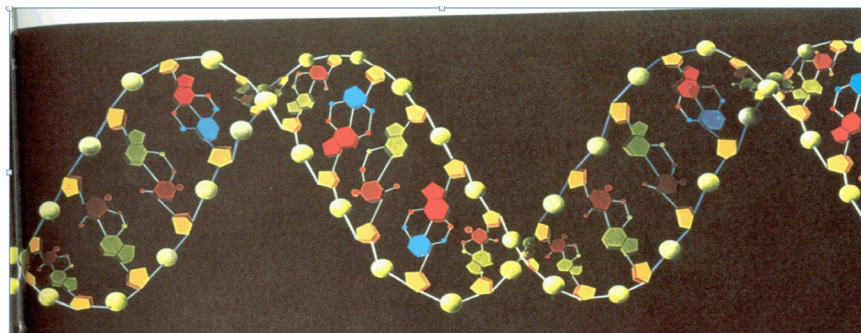


Figura 3. Hélice del DNA.

Todos estos componentes fundamentales de los seres vivos permiten variaciones de acuerdo a la forma en que se configuren molecularmente, siempre dentro de un patrón bioquímico que se corresponde con la apretada enumeración anterior. Por ejemplo, se han reconocido al menos catorce tipos de clorofila, de acuerdo a pequeñas variaciones en ocho radicales, y miles de proteínas, de acuerdo al número y secuenciación de los aminoácidos. De otro lado es posible asegurar, con el conocimiento actual, que las características funcionales de los organismos vivos se pueden entender en razón de las interacciones coordinadas de las pequeñas y grandes moléculas.

Otro gran paso en el proceso evolutivo de los primeros seres vivos, que conduce a nuevos acontecimientos, se da a partir de la aparición de la fotosíntesis, esa nueva alternativa a la quimiosíntesis.

El proceso de fotosíntesis parece haber ocurrido inicialmente en bacterias que obtenían el hidrógeno para constituir los componentes orgánicos, del sulfuro de hidrógeno (H_2S) muy abundante a partir de fumarolas y volcanes, dejando en su entorno atmosférico azufre elemental (S) y evolucionaron hasta adquirir la capacidad de capturar la energía fotónica del sol.

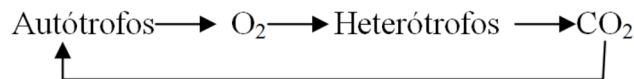
Pero no hay que olvidar que la vida sólo puede desenvolverse en un entorno rico en agua, y ésta (H_2O) pasó a ser una fuente más abundante en H_2 , para lo cual era necesario disponer del equipo bioquímico capaz de romper la molécula de agua, de enlaces mucho más fuertes que las de sulfuro de hidrógeno, de hidrógeno molecular libre (H_2) y de compuestos orgánicos de formación abiótica

$[(CH_2O)_n]$. Al poder escindir la molécula de agua tan abundante, se podía disponer de su hidrógeno (H_2) y quedaba el oxígeno libre, un elemento muy reactivo, que empezó entonces a aumentar en la atmósfera y a combinarse con otros elementos como el hierro, - metal muy abundante en el planeta-, pero con la consecuencia de que el O_2 es altamente tóxico para los seres vivos. “El oxígeno es tóxico porque reacciona con la materia orgánica. Atrapa electrones y produce los llamados radicales libres, que son sustancias químicas muy reactivas y de vida corta capaces de destruir los compuestos de carbono, hidrógeno, azufre y nitrógeno que constituyen la base de la vida”, según señalan Margulis y Sagan (1995)¹⁸.

Dos grandes hechos se desprenden de este acontecimiento evolutivo. De un lado, las bacterias anaeróbicas, como fueron todos los microorganismos primitivos en tanto en la atmósfera primigenia sólo había trazas de oxígeno, se suman ahora las aeróbicas que desplazan a las anteriores a espacios privados de O_2 , aumentándose así la biodiversidad en respuesta a cambios en el entorno. De otro lado, la atmósfera de la Tierra empieza a aumentar la cantidad de O_2 , un gas muy escaso en la atmósfera inicial. Estas bacterias aeróbicas generaban una mayor cantidad de ATP, y en consecuencia de energía libre que las quimioautótrofas que se valían de la fermentación y sólo podían producir dos moléculas de ATP. Esto es, mientras las bacterias anaeróbicas producen por fermentación de una molécula de glucosa, un promedio de dos ATP, las aeróbicas, ya evolucionadas hacia un metabolismo respiratorio, producen con la misma molécula de azúcar, treinta y seis moléculas de ATP.

Estas bacterias aeróbicas en el proceso de “endosimbiosis” ya enunciado, parecen ser las precursoras del aparato mitocondrial, organelo respiratorio de las células eucariotas. Este aparato mitocondrial originado a partir de bacterias aeróbicas, y el aparato fotosintetizador, que fue denominado plástido y coexistió con el mitocondrial en algas o células plantónicas, tienen la particularidad de poderse autorreproducir por división directa dentro de las células protistas (eucariotas), lo que ha servido de apoyo para la teoría de la endosimbiosis.

A partir de estas células eucariotas con aparato mitocondrial y con plástidos o no, surgieron, en complejos procesos evolutivos, los otros cuatro reinos: protoctistas, animales, hongos y vegetales, que a partir de los “desechos” de su metabolismo intermedio, configuran otro maravilloso proceso circular de la biosfera:



En este aspecto del metabolismo intermedio hay que hacer mención de un elemento fundamental para las proteínas y los ácidos nucleicos, hablamos del nitrógeno, muy abundante en la atmósfera en forma molecular (N_2) que es tomada por algunas bacterias, las nitro fijadoras, únicas capaces de hacer el costoso proceso, en términos energéticos, dada la estabilidad de la unión $N\equiv N$, de reducción del N_2 a $2NH_3$. Luego otros grupos de bacterias hacen posible llevarlo a formas más fácilmente asimilables para un amplio grupo dentro de la biosfera y hacerlo así disponible para el conjunto de la vida, teniendo en cuenta que todas las proteínas son compuestos nitrogenados fundamentales para todas las células.

Este último proceso se lleva a cabo mediante un doble proceso de oxidación, primero llevándolo a ión nitrito (NO_2^-) y luego a ión nitrato (NO_3^-), por microorganismos quimioautótrofos en tanto su energía para el crecimiento se obtiene de esa reacción oxidativa $NH_3 \rightarrow NO_2^-$ y NO_3^- .

3. BIODIVERSIDAD, TERMODINÁMICA DEL PLANETA Y RECICLAJE DE MATERIA.

En el aparte anterior se planteó el fenómeno del contraste formidable de una amplia diversidad de las formas de vida surgidas todas de una base extraordinariamente homogénea en términos bioquímicos. Este suceso del despliegue hacia la heterogeneidad a partir de una base homogénea, ha sido tratado entre otros por dos grandes investigadores, R. Thom y S. Kauffman. En primer lugar es R. Thom¹⁹ quien señala que “de una manera general, la aparición de una nueva «fase» en un

18. Opus cit., p. 118 (Microcosmos)

Figura 4. Biociclo $CO_2 \rightarrow O_2$

19. R. Thom. 1976. Una teoría dinámica de la morfogénesis. En “Hacia una biología teórica”. Editado por C. H. Waddington y otros. Alianza editorial. Madrid. P. 189.

20. Idem, p. 196.

21. S. Kauffman. 2003. Investigaciones. Tusquets editores. Barcelona. P. 122.

22. V. I. Vernadsky. 1997. Opus cit., p. 44.

23. J. C. Duplessy y P. Morel. 1993. Temporal sobre el Planeta. Acento Editorial. Madrid. P. 137.

24. La fotosíntesis en el mar es realizada por las diatomas (algas) y algunos flagelados provistos con cloroplastos, que viven en la llamada zona fotónica, cerca de 100 metros de profundidad, a donde puede penetrar la luz solar.

medio inicialmente homogéneo conduce a este género de apariencia que llamamos «catástrofe generalizada»; esto lleva, dice él, a un proceso estructuralmente inestable, en donde el «atractor» de la dinámica juega un papel de mantenimiento de fluctuaciones que caerían, a nuestro entender, dentro del concepto Moraniano de «metaestabilidad». Concluye luego Thom²⁰ que «la estabilidad, reposa ella misma, sobre una competición entre «campus», entre «arquetipos» de carácter más elemental, cuya lucha engendra la configuración geométrica estructural estable que asegura la regulación, la homeóstasis del metabolismo y la estabilidad de la reproducción».

Por su parte, S. Kauffman, 2003²¹ escribe que la creación de la biosfera -y del universo mismo- la entendemos «con la adecuada comprensión de los conceptos de «organización» y «organización propagativa y diversificadora» y se refiere a la aparición histórica, desde el *big bang*, de estructuras interconectadas de materia, energía y procesos mediante los cuales una creciente diversidad de clases de materia, fuentes de energía y tipos de procesos hace su aparición en la biosfera o en el universo mismo».

En el caso de la biosfera, entendida a la manera de Vernadsky, «la capa exterior de la Tierra tiene entonces, que ser considerada no solamente como una región de materia, sino también como una región de energía y una fuente de transformación del Planeta»²², en cuanto además de la energía, la vida establece un constante reciclaje y transformación de materia. Actualmente los elementos químicos reconocidos en el Planeta pasan del centenar, aunque se acepta que los que componen la materia viva apenas llegan a unos veintiocho, de los cuales cuatro (C, H, O, N) constituyen el 99,5% de la biosfera. Sin embargo, desde el inicio de la vida, de aquellas primeras formas autónomas y autopoieticas, aunque el aumento del número de elementos químicos en sí mismo, no es particularmente notable, si lo son las formas de agregación molecular que es lo que realmente representa nuevas configuraciones que dan cuenta, en buena medida de la extraordinaria generación de biodiversidad.

En esta perspectiva, estamos frente a la dinámica inherente a una «organización propagativa y diversificadora», según lo propone S. Kauffman, que tiende entonces, a una propagación expansiva y heterogeneizante, valiéndose de la captación de no muy distintos tipos de materia y energía que despliegan una amplia gama de organización exitosa en tanto se haga posible los procesos necesarios para mantener su orden por fluctuaciones alrededor del atractor del sistema.

En términos de energía, la Tierra recibe, de un lado, la llamada radiación cósmica originada en flujos de partículas cargadas que vienen de diferentes partes del universo. Estos rayos cósmicos chocan contra diferentes átomos en la atmósfera, y generan así, en ese choque, más partículas cargadas y otros tipos de energía que llega entonces a la Tierra.

Esta carga energética es extremadamente alta en estas partículas, pero la cantidad que alcanza la superficie del Planeta es muy poca; del otro lado, la energía radiante del Sol, cubre todas las longitudes de onda del espectro electromagnético, desde los rayos gamma y los rayos X duros, hasta las ondas de radio, pero la mayor parte de la energía radiante se concentra en un intervalo de longitudes de onda relativamente estrecho, - 200 a 4000 nm- agrupados alrededor del máximo de intensidad luminosa correspondiente a la luz amarilla (600 nm).

De otro lado, la radiación telúrica se encuentra, casi en su totalidad, prácticamente en el intervalo espectral de 4.000 a 80.000 nm., con una emisión máxima en el infrarrojo «térmico», de alrededor de 12.000 nm²³.

El vapor de agua y el dióxido de carbono de las capas superiores de la troposfera, absorben fuertemente esta radiación infrarroja telúrica, de tal manera que la casi totalidad (96%) de la energía radiada por la superficie de la Tierra es reabsorbida en la atmósfera y no puede escapar hacia el espacio. Esto es lo que se conoce como el «fenómeno invernadero».

Cuando la energía procedente de la radiación solar llega a la superficie de la Tierra (incluyendo la superficie marina²⁴), crea gradientes de temperatura con el aire y el agua, y genera los movimientos del aire, y del agua, y la evaporación y ascenso del vapor de agua, que inicia así su propio ciclo, pero además es recibida por los fotoautótrofos terrestres y marinos, para alimentar el proceso de la fotosíntesis, principalmente con la radiación solar de espectro medio, que es captada por la pigmentación de los fotoautótrofos y transformada en energía de enlace químico.

La radiación con longitudes de onda menores al espectro visible, rayos gamma, rayos X y rayos ultravioleta, - 10⁻¹², 10⁻¹⁰ y 10⁻⁸ m, respectivamente -, son de tan alto nivel de energía que son dañinos

para las células vivas, pero generalmente son atrapados en su mayoría en las capas superiores de la atmósfera. Viene luego el espectro visible y, por último, las ondas radiales que portan el menor nivel de energía.

Se entiende que el espectro es continuo, sin vacíos ningunos, y aunque tenemos la tendencia a considerar los colores como distinguibles y por lo tanto nombrables uno a uno, en realidad todos se van desvaneciendo a uno y otro lado, donde aparece el adyacente; en este sentido, los rangos señalados son más convencionales que reales, apenas sí aproximaciones toscas.

Violeta	380 - 450
Azul	450 - 495
Verde	495 - 570
Amarillo	570 - 590
Anaranjado	590 - 620
Rojo	620 - 750

Al mirar un otoño en la zona estacional de la Tierra, se ve la hermosa policromía de las hojas de los árboles cuando las miramos desde arriba, y, de la misma manera, las innumerables tonalidades de verde y otras coloraciones de los bosques tropicales durante todo el año, que nos asombran aún más. Se trata de la importancia de captar la mayor cantidad de radiación solar disponible.

Dos consideraciones son importantes en este caso para entender esa biodiversidad. De un lado, el fenómeno descrito por E. D. Schneider y J. J. Kay, y del otro, los principios termodinámicos de la indestructibilidad de la energía, y de la transformación de la misma, que se corresponden con las conocidas primera y segunda ley.

De acuerdo a la primera ley se entiende que todo proceso en el que entra energía calórica – Q – al sistema y éste realiza un trabajo –W - , la energía total transferida a dicho sistema es igual al cambio en su energía interna – ΔU -. Así,

$$Q - W = \Delta U = U_f - U_i, \text{ donde}$$

U_f = energía final, y

U_i = energía inicial.

Esto significa que al final del proceso las proporciones entre Q y W, como las dos formas principales en que se transfiere energía del entorno al sistema o viceversa, dependerán fundamentalmente de la cantidad y eficiencia del trabajo realizado.

Cuando se piensa en la energía solar que llega a la Tierra, se puede entonces transferir simplemente como calor o generarse un trabajo, caso en el cual la energía calórica final va a disminuir complementariamente a la cantidad de trabajo realizado. Sobre la Tierra hay predominantemente tres tipos de trabajo que se realizan con la energía radiante del sol que entra al sistema Tierra. Ellos son: movimiento del aire y del agua, evaporación del agua que activa la dinámica del ciclo hídrico, y la fotosíntesis que transforma la energía exosomática (radiación solar) en energía endosomática (enlaces químicos orgánicos).

En el caso de la biodiversidad la teorización de E. D. Schneider y J. J. Kay (1999)²⁵, puede explicarnos tanto su existencia, como su disminución desde el trópico hasta las zonas polares.

Parten estos autores de reconocer a “la Tierra como un sistema termodinámico abierto con un intenso gradiente impuesto por el Sol”²⁶, y que “los sistemas vivos son sistemas disipativos lejos del equilibrio con un gran potencial para reducir gradientes de radiación planetaria”²⁷. Esta afirmación la expresan los autores a partir del principio químico conocido como de Le Chatelier, que es presentado como un ejemplo de la segunda ley de la termodinámica, reformulada y que reza entonces, así: “Si un sistema es desplazado del equilibrio utilizará todas las vías disponibles para contrarrestar los gradientes aplicados. Conforme se incrementan estos gradientes, se incrementa también la capacidad del sistema para oponerse a un alejamiento ulterior del equilibrio”²⁸

Sobre estas bases se entiende que la vida es una respuesta al imperativo termodinámico de la disipación de gradientes, lo que a su turno, hace comprensible que la diversidad de las especies fotosintetizadoras es el aparato autoorganizado cuya emergencia en la evolución de la vida, permite cumplir a cabalidad esta función perentoria.

Tabla 1. ESPECTRO VISIBLE. Longitudes de onda en nanómetros (nm)

25. E. D. Schneider y J. J. Kay, 1999. El orden a partir del desorden: la termodinámica de la complejidad en biología. En “La biología del futuro. ¿Qué es la vida?, cincuenta años después”. Editado por M. P. Murphy y L. A. J. O’Neill. Tusquets editores. Barcelona. Pp. 221- 238.

26. Idem, p. 229.

27. Idem, p. 229.

28. Idem, p. 229.

29. D. Currie. 1991. Energy and large-scale patterns of animal and plant species- richness. *American Naturalist*, 137:27-48.

30. Opus cit., p. 230.

31. C. Tudge. 1991. *Global Ecology*. Publ. By The Natural History Museum. London. P. 64.

32. A. von Humboldt. 1991. *Viaje a las regiones equinociales del Nuevo Continente*. 5 vol. Monte Ávila editores. Caracas. Vol. 2., P. 31.

33. J. Cavalier. 1991. El ciclo del agua en bosques montanos. En "Bosques de Niebla en Colombia". Edit. Por C. Uribe. Banco de Occidente. Bogotá. P. 79.

34. Opus cit., p. 64.

35. Opus cit., P. 118.

En un trabajo de D. Currie (1991)²⁹, se demuestra que la riqueza de especies medida a gran escala, señala una muy alta correlación con la evapotranspiración anual potencial. Este proceso es considerado precisamente como una forma muy efectiva de degradar energía – 2500 joules por gramo de agua transpirado -, lo que explica claramente la compleja disposición foliar de las especies vegetales en el bosque húmedo tropical, de forma tal que se optimice la captura y degradación de energía. Se señala precisamente (Schneider y Kay)³⁰, que en las plantas terrestres la inmensa mayoría de su energía se destina a la evapotranspiración, - 200 – 500 gramos de agua transpirada por gramo de material fotosintético fijado-.

Este aspecto energético se constituye en una convincente explicación de la biodiversidad vegetal desde el trópico húmedo, donde se han contabilizado zonas con cerca de doscientos tipos diferentes de árboles por hectárea, hasta prácticamente desaparecer al acercarnos a las zonas polares. C. Tudge (1991)³¹ escribe que en "una hectárea cualquiera de bosque tropical se pueden encontrar árboles de cien diferentes tipos y cada individuo puede estar ampliamente separado de otros de la misma especie". Ya, desde finales del siglo XVIII, Humboldt³² se había asombrado de la extraordinaria diversidad de plantas y el tejido tan tupido de verdor que exhiben en las regiones equinociales de América. "Mediante este extraño agrupamiento, las selvas, tanto como los costados de los peñones y los montes, agrandan el dominio de la naturaleza orgánica".

Una urdimbre de tal exuberancia es la manera en que el ecosistema responde a la disipación de gradientes de radiación solar sobre el trópico que recibe entre $\frac{2}{3}$ y $\frac{5}{6}$ del total de la energía solar que llega a la Tierra. Ya J. Cavalier (1991)³³ ha señalado, mediante modelos de simulación, que la conversión de bosques húmedos tropicales de tierras bajas a pastizales, dan cuenta de diferencias de temperaturas en el aire y en el suelo de 2,5°C y 3,5°C, respectivamente. Estos datos sin embargo son considerados muy bajos por algunos profesionales que trabajan con técnicas de silvopastoreo, que aseguran haber encontrado diferencias en la temperatura del aire que superan los 10°C entre el pastizal arborizado y el limpio. Señala además Cavalier que la evaporación y la precipitación se alteran ostensiblemente.

Si bien, en razón de la termodinámica de la captación de la energía fotónica del Sol y la siguiente transformación de energía exosomática, radiación solar, a energía endosomática, energía de enlace químico, a través de la fotosíntesis, se ha hecho referencia casi que exclusivamente a la flora, realmente la biodiversidad se cumple en todos los niveles de la biosfera, dadas las características ya anotadas de la franja intertropical; en esta perspectiva otro aspecto realmente asombroso es el incontable número de pequeños animales, la multiplicidad de hongos y de microorganismos en general. Así el número de pequeños insectos, arácnidos, anélidos, etc., etc., que viven precisamente en el bosque, es hasta ahora desconocido, y se puede estar seguro que el dato de T. L. Erwin y J. C. Scott que cita Tudge³⁴, es una subestimación bastante alejada de la realidad; el mismo Tudge, considera que el estimado de 10 millones de especies, puede corregirse hasta 50, cifra todavía muy baja, según varias informaciones. Una forma indirecta de cuantificación puede dar una mejor apreciación, cuando se señala que el 99% de las especies que conforman la biosfera, viven en la zona húmeda tropical. Cualquiera que sea el dato, se entiende que esto explica otro de los fenómenos más referenciados de esta zona de la Tierra. Se trata de la extraordinaria rapidez con la que se sucede el reciclaje de la materia –de orgánica a inorgánica-; esa velocidad espectacular, comparativamente a las zonas estacionales y polares, con la que las bacterias, protoctistas, insectos, hongos y animales degradan la materia orgánica, para reintegrarla al fondo común de materia inorgánica disponible para los autótrofos. Es cuando tiene sentido hablar de una red trófica, que en ningún caso cadena, que configura una urdimbre particularmente apretada de la biosfera tropical, y que explica la mal llamada pobreza de los suelos del trópico, en cuanto la mayor parte de la materia que entra en la biosfera permanece por encima del suelo como formas vivas o en descomposición activa.

S. Kauffman³⁵ lo ha dicho de manera magistral "el hecho de que los agentes autónomos enlacen reacciones exergónicas y endergónicas es fundamental para la creación de ventajas en los intercambios y, derivados de ellos, nuevos nichos y nuevas oportunidades mutualistas. El resultado es una inmensa red que constituye un ecosistema, en el que la luz solar es capturada y empleada para engarzar agua, nitrógeno, dióxido de carbono y otras especies moleculares simples dando lugar a la enorme profusión que asombró a Darwin", y agregaría, y que el hombre contemporáneo quiere destruir para desgracia de ese mismo hombre. Pero, se debe insistir, no se trata sólo del tema energético al que suelen hacer mención casi exclusiva la mayor parte de los tratadistas que se han invocado, sino también al reciclaje de materia, que es indispensable y que requiere la energía.

En efecto, se dan por lo menos tres actividades humanas negativamente relacionadas con la biodiversidad: en primer lugar, la destrucción del bosque; en segundo lugar, la homogeneización de

las plantas, animales y hongos, principalmente, en función de los procesos de la llamada revolución verde, que está incluyendo en forma creciente la transgénesis; y, en tercer lugar, la deformación de los procesos de reciclaje de la materia orgánica, mediante el desajuste, a gran escala del destino dado a los desechos orgánicos generados en el procesamiento industrial y doméstico, de los productos agrarios, por efecto del gran avance de la urbanización de la mayoría de la población humana que condujo a la industrialización de la producción agrícola.

En lo que hace relación a la destrucción del bosque, el incremento del urbanismo con todas sus demandas expresadas en lo que se conoce como “huella ecológica”, esto es, el nivel espacial de intervención sobre los ecosistemas forestales para llenar las exigencias de la dinámica urbana: energía, alimento, materiales (minería), agua, transporte, comunicaciones, diversión, etc., provocan una destrucción de áreas boscosas naturales para la obtención de todo tipo de demandas al interior del espacio urbano: especies para producción agrícola, maderas para construcción, muebles, herramientas y equipos mecánicos, artículos de lujo, etc.; espacios para vías de transporte y sistemas de comunicaciones y electricidad, y zonas de esparcimiento; espacios para represas con fines de irrigación, suministro de agua potable y producción de hidroelectricidad, y otros muchos requerimientos que van surgiendo con las imparable exigencias de la expansión técnica. De ahí que la forma dominante dentro de la política del desarrollo sea la de delimitar espacios protegidos a los que se les da el nombre rimbombante de «parque natural», cuya función, se dice, es la de “proteger la naturaleza”.

En cuanto a la homogeneización de las plantas, animales y hongos domésticos, se invocó la necesidad de proveer alimento para solucionar el problema de la “bomba poblacional” que se hizo tan prominente después de la matanza de la segunda guerra mundial del siglo XX, y se recurrió entonces a la aplicación del mejoramiento genético de plantas y animales domésticos con apoyo en la genética de poblaciones. Posteriormente empezó a utilizarse en cantidades importantes los transgénicos, sobre todo en plantas de gran valor comercial. Todos estos procesos que se pueden agrupar bajo la denominación de eugenesia a gran escala, busca la homogeneización del genoma poblacional del grupo de seres vivos en explotación, lo que a su turno exige, de contera, la homogeneización del medio ambiente en el que se halla la empresa agraria, lo cual llega hasta la vinculación al aparato industrial tanto en los procedimientos precosecha como los postcosecha. Esto produce en realidad, un efecto de disminución de la biodiversidad, por dos vías: a nivel de genoma en sí y, a nivel de la sustitución de grandes espacios de agricultura tradicional de policultivo o de bosques nada o poco intervenidos, por monocultivos, o monoespecies animales en explotación económica. Al respecto hay que anotar que ya son alrededor de 200 millones de hectáreas de cultivos transgénicos. Se entiende además que el procedimiento agroindustrial exige frutos o animales homogéneos en tamaño, forma y color.

En lo que respecta al reciclaje de materia, hay que tener en cuenta que el envío de productos agrarios a la zona urbana implica que sea ahí en esa zona, y no en el predio donde se cosechó la producción, donde se generan la mayor parte de los desechos, que convertidos en “basura”, entran a las aguas servidas de las ciudades, o a los rellenos sanitarios, lo que los aleja definitivamente de su suelo de origen y alteran entonces el proceso normal de reciclaje de materia en la biosfera, y se entra así a un fuerte proceso de desertización, lo cual constituye uno de los mayores problemas ecológicos actuales. (Más de 8 millones de km² de tierras que, antes de la aplicación de la revolución verde, estaban en uso agrícola).

Estos problemas que se originan y operan de forma interdependiente los unos de los otros, que ejercen un efecto notorio sobre la termodinámica del Planeta y el reciclaje de materia y que además van a aumentar el CO² libre, al descomponerse las grandes masas vegetales de las zonas boscosas o agrícolas, y sumarse así al CO² proveniente de fuentes fósiles, actúa, con los restantes gases invernadero, para cambiar la dinámica térmica de la Tierra, configurar así, el llamado Cambio Climático y alterar en forma igualmente grave el reciclaje de la materia, esto es, alterar la dinámica misma de la vida.

BIBLIOGRAFÍA

- Cavalier, J. 1991. El ciclo del agua en bosques montanos. En “Bosques de Niebla en Colombia”. Editado por C. Uribe. Banco de Occidente. Bogotá.
- Currie, D. 1991. Energy and large- scale patterns of animal and plant species-richness. *American Naturalist*, 137: 27 – 48.

- Duplessy, J. C. y P. Morel. 1993. Temporal sobre el Planeta. Trad. por A. M. Ledoux. Acento editorial. Madrid.
- Kauffman, S. 2003. Investigaciones. Trad. por L. E. de Juan. Tusquets editores. Barcelona.
- Lovelock, J. E. 1996. La hipótesis Gaia. En "Evolución Ambiental". Editado por L. Margulis y L. Olendzenski. Trad. por M. Solé Rojo. Alianza editorial. Madrid.
- Margulis L. y D. Sagan. 1995. Microcosmos. Trad. por M. Piqueras. Tusquets editores. Barcelona.
- Margulis L. y D. Sagan. 1996. ¿Qué es la vida?. Trad. por A. García. Tusquets editores. Barcelona.
- Maturana, H. y F. Varela. 1994. De máquinas y seres vivos: Autopoiesis: la organización de lo vivo. Editorial Universitaria. Santiago de Chile.
- Schneider, E. D. y J. J. Kay. 1999. El orden a partir del desorden: la termodinámica de la complejidad en biología. En "La biología del futuro. ¿Qué es la vida?, cincuenta años después". Editado por M. P. Murphy y L. A. J. O'Neil. Trad. por A. García L. Tusquets editores. Barcelona.
- Thom, R. 1976. Una teoría dinámica de la morfogénesis. En "Hacia una biología teórica". Edit. Por C. H. Waddington y otros. Trad. por M. Franco. Alianza editorial. Madrid.
- Thomas, L. 1995. Presentación del libro. En "Microcosmos" de L. Margulis y D. Sagan.
- Tudge, C. 1991. Global Ecology. Publ. by The Natural History Museum. London.
- Vernadsky. 1997. The Biosphere. Translated from Russian by D. B. Langmuir. Copernicus Spinger-Verlag. N. Y.
- Vernadsky. 1945. The Biosphere and the Noosphere. American Scientist.
- von Humboldt, A. 1991. Viaje a las regiones equinociales del Nuevo Continente. (5 vols). Trad. por L. Alvarado. Monte Ávila editor. Caracas.