

■ **CAPÍTULO 2**

DE LA BIOSFERA A LA PSICOSFERA

ANTONIO MACHADO CARRILLO

*Profesor Asociado de Ecología, Universidad de La Laguna
Centro Europeo para la Conservación de la Naturaleza, Tilburg, Holanda*

1. EL CONCEPTO DE BIOSFERA

Los subcomponentes físicos, químicos y biológicos de la Tierra interactúan y, ya sea por azar o por diseño, modifican mutuamente su destino colectivo.

S. Schneider

La naturaleza es como una nube que se mueve y nunca es igual

R. W. Emerson

El hombre, al ser una especie presumida y arrogante, tarda en ver las cosas sin la impregnación de su sempiterno antropocentrismo. Por eso, es a finales del siglo XVIII cuando toma conciencia real del bosque del que él es un mero árbol: la biosfera. Es la primera visión planetaria y funcional (no anatómica) del planeta.

Jean Lamarck (1744-1829) introduce la idea de la biosfera en la Biología, en París, y Eduard Suess (1831-1914), vienes, lo hace en la Geología en su obra *Das Antlitz der Erde* y más tarde en *Die Entstehung der Alpen* (1875). Sin embargo, corresponde a Vladimir Vernadsky (1863-1945) la difusión real del término con su libro *La Biosfera* (edición rusa en 1926 y francesa en 1929), donde lo define con precisión y presenta sus estudios geoquímicos, iniciando así esta nueva disciplina.

Con todo, el concepto de biosfera es empleado a veces como el conjunto de seres vivos, la masa viva del planeta (equivalente a la Biodiversidad) y otras veces como el “área de la vida” o película del planeta que alberga la vida (s. Vernadsky, Hutchinson, 1979). Con buen criterio, Lamont C. Cole (*Scientific American*, 1958) introduce el concepto de ecosfera como “la suma total de la vida sobre la tierra, unida al conjunto del medio ambiente y la totalidad de los recursos del planeta”; es decir, lo define como un ecosistema. Luego Sarmiento (1985) lo desarrollará con propiedad. No obstante, el término no se afianza y se emplea el de biosfera en este mismo sentido ecosistémico.

James Lovelock, un estudioso de la química atmosférica, propuso a principios de los años 70 la hipótesis Gaia (“La Madre Tierra” de la mitología griega, nombre que le propuso el escritor William Golding). El concepto se sustentó inicialmente sobre bases teleológicas y consideraba al planeta (= Gaia) como un superorganismo. Lovelock ya ha renunciado a estos planteamientos por influencia, seguramente, de Lynn Margulis, la gran valedora de Gaia¹, quien emplea el nombre para designar –ojo– a un planeta “vivo” en vez de un planeta “con vida”. Esto es coherente con Lynn, que es una biófila apasionada, y de lo que se entienda por vida. Con todo, la nueva Gaia se va pareciendo cada vez más a la biosfera, autoorganizada y con capacidades cibernéticas, como cualquier ecosistema. Gaia sería un buen nombre para La Tierra con vida y para distinguirla de La Tierra sin vida; cuestión de nombres, pero no se pueden evitar las connotaciones metafísicas que

(1) A raíz del reciente simposio “Gaia in Oxford” (1996) se creó «Gaia. The Society for Research and Education in Earth Science» el 9-2-1998 en la Royal Society of London.

Gaia desató en un principio y que siguen muy vigentes y más allá de lo que Lovelock o Margulis desean (una “madre” que nos cuida, luego no hay por qué preocuparse).

A nuestros efectos, emplearemos el concepto de biosfera como la capa del planeta que integra a toda la hidrosfera (11 km), la atmósfera baja (troposfera (8–16 km) y algo de litosfera (unos 2-3 km); es decir, la envoltura terrestre donde se desarrolla la vida y los procesos que la mantienen (1 mm de grosor para una pelota de ½ metro de diámetro). Sarmiento (o.c.) extiende su ecosfera hasta la capa de ozono, por lo que el espesor total en este caso superaría los 150 km.

2. ORIGEN Y EVOLUCIÓN DE LA BIOSFERA

2.1. FORMACIÓN DE LA TIERRA

A La Tierra se le atribuye una edad de 4.500 ma. Se haya formado por fusión catastrófica de su núcleo o por acreción heterogénea, el caso es que en sus comienzos se trataba de un planeta geológicamente muy activo. En este periodo “infernol”, bautizado Hadeense (Hades, el infierno de la mitología griega) se formó muy precozmente una atmósfera (4.400 ma) por desgasificación del manto, y luego la hidrósfera (3.760 ma).

La composición de la atmósfera primitiva era mayoritariamente de anhídrido carbónico, nitrógeno y vapor de agua, y en menor proporción: metano, amoniaco, dióxido de azufre y ácido clorhídrico. No había oxígeno.

La Tierra, por su masa y distancia al sol, puede retener una atmósfera por gravedad y mantener agua en estado de agua líquida (sin atmósfera, $T = 255^{\circ}\text{K}$ ó -18°C). Cabe destacar el hecho de que, según los astrónomos, La Tierra se encuentra cerca de un borde de lo que sería la ventana de “habitabilidad” –agua líquida– alrededor del Sol. Esta posición de frontera, favorece, según la Teoría del Caos, la aparición de novedades (¿vida?).

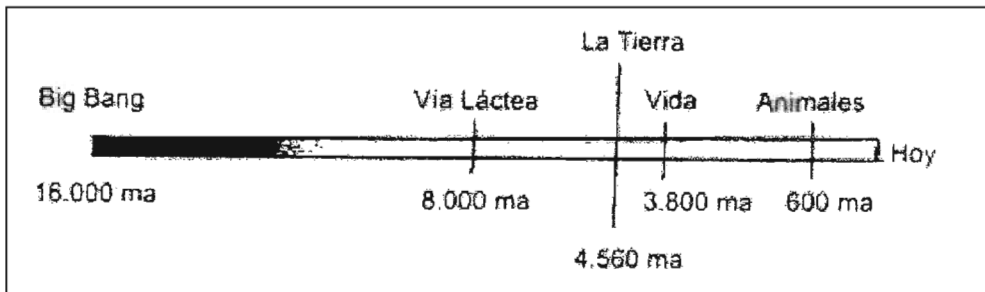


Figura 1.

El período Hadeense concluye hace 3.900 ma con una lluvia inusitada de meteoritos que seguramente aportaron H_2O y CO_2 adicionales (y algunos hidrocarburos). Sobre este

planeta se inicia la biosfera a edad realmente muy temprana (700 ma) lo que ha dado pie a postular que la vida es una consecuencia lógica de la evolución de la materia (cf. Farmer, en Brookman, 1996).

2.2. INICIO DE LA VIDA

Sea cual sea la razón de fondo (caos o azar), se viene aceptando que la vida surge espontáneamente en la hidrosfera (arcillas expuestas, charcos someros, sopa primordial, etc.) aunque no falte también quien le atribuya un origen extraterrestre dado el poco tiempo que tuvo para organizarse algo tan complejo en un planeta entonces tan joven. La antigua idea de panspermia de Arrhenius ha sido revitalizada por autores como Hoyle y Wickramasinghe (1978).

Los fósiles más antiguos desvelados son estromatolitos de 3.500 y 2.700 ma hallados en Australia, es decir, organismos fotosintéticos. También existen indicios de vida (*¿microfósiles?*) basados en presencia de kerógeno² y el desbalance de C^{13}/C^{14} (la vida discrimina a favor del isótopo más liviano) con edades de 3.800 ma. En aquellos tiempos el sol era 25% menos brillante que ahora y la atmósfera reductora (cielos blancos). También se tiene constancia de que la magnetosfera terrestre comenzó a funcionar hace 3.500 ma, lo que protege al planeta de la radiación cósmica (viento solar), nefasta para la vida. Ésta comenzó como formas bacterianas, organismos que para construir su biomasa tuvieron que tomar el hidrógeno del medio (*¿de la rica sopa primordial?*), o del SH_2 emitido por volcanes y emanaciones fisurales, o ya tras la fotosíntesis aeróbica, del H_2O .

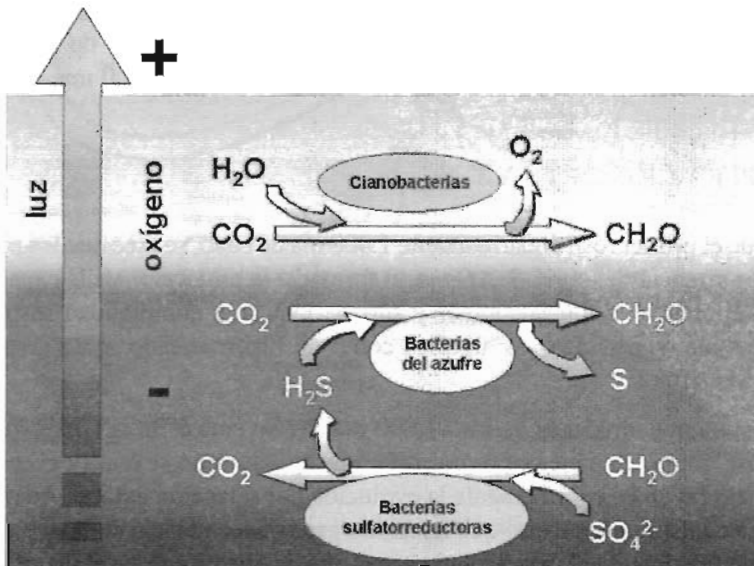


Figura 2. Esquema de un tapete microbiano (Pérez Ruzafa).

(2) El kerógeno se produce en la descomposición del fitoplancton.

La gran variedad de metabolismos presentes en la bacterias hablan de su adaptación a condiciones realmente heterogéneas y a menudo extremas (hoy persisten muchos de estos linajes y se les conoce como “extremófilos”: vida en el hielo, a pH muy ácidos, en fuentes termales, altísima salinidad, etc.). Los actuales tapetes microbianos sobre sustratos salinos, en el que se acoplan varias bacterias (i.e. cianobacterias, bacterias púrpuras del azufre y bacterias sulfatoreductoras) pueden ser un buen ejemplo de las comunidades vivas que dominaron la biosfera durante muchos millones de años. Funcionan aprovechando el potencial redox que se establece entre la superficie y el fondo, en apenas unos milímetros de espesor. Su variedad es enorme, también en el presente (formas mamelonadas, en película, gelatinosas, en penachos, reticulares, en ampolla, etc.)

La vida toma mucho CO_2 y tras la fotosíntesis expelle O_2 a la atmósfera, un compuesto muy reactivo y tóxico. Este oxígeno se empleó en un principio en la oxidación de compuestos y se cree que es el origen de las enormes y abundantes formaciones de hierro bandeado (oxidado) que se inician del -3.500 hasta el -2.000, con un pico en el tránsito del Arqueozoico al Proterozoico. Una vez agotado el hierro, comenzaría a acumularse progresivamente en la atmósfera, arrancando sobre -2000 ma, para alcanzar un 10% sobre -1.000 ma y llegar al 21% del presente (se han registrado muchas fluctuaciones).

Ante la presencia de oxígeno libre, surgen bacterias aerobias (registros de -2.500 y -2.000 ma), que lo emplean en su metabolismo (precuroras de las mitocondrias). También en esta dilatada época, el oxígeno contribuye a engrosar la capa de ozono de la alta atmósfera, que ejerce de escudo a la radiación ultravioleta más nociva para la materia viva (sobre todo entre 280 – 320 nm).

La biosfera precámbrica fue básicamente bacteriana. Hablamos de un dominio exclusivo del planeta durante más de 2.000 millones de años, más de la mitad de su historia. La primera célula eucariota conocida se ha datado en -1.400 ma.

2.3. COMPLICACIÓN DE LA VIDA

Aunque el primer fósil eucariota tiene 1.400 ma de edad, se cree que los protoctistas planctónicos arrancaron sobre -2.000 ma, al formarse la protección de la capa de ozono. Una célula eucariota es mucho mayor y supone una gran complejidad respecto de la célula bacteriana, sin núcleo. Es algo así como un hipermercado comparado con una venta de ultramarinos.

Se postula que alrededor de los -1.000 ma se “inventa el sexo” (meiosis), lo que, por otra parte implica la muerte programada. La reproducción sexual (y eliminación de los parentales) favorece enormemente la evolución por selección natural. Además, a este novedoso mecanismo se une otro que ha tenido gran trascendencia en la evolución de la vida y que ha funcionado al menos cinco veces, precisamente en esta etapa proterozoica. Se trata de la simbiogénesis o fenómeno que se produce cuando dos organismos distintos, tras vivir en simbiosis constante y prolongada, acaban por integrarse uno (el endosimbionte) en el otro para dar un nuevo organismo quimera, con nuevas capacidades. Así se ha

comprobado que las mitocondrias tan importantes para la respiración de los metazoos, tienen su origen en bacterias aeróbicas; la capacidad de fermentación y resistencia al calor en bacterias tipo *Thermoplasma*; los undulipodios en espiroquetas, y los cloroplastos en cianobacterias. De estas fusiones o agregaciones de genomas surgen los demás reinos conocidos, además de las bacterias que estarán siempre presentes y son el sello más característico de la biosfera: Los protoctistas cuentan con 2 genomas, los hongos con 3, los animales con cuatro y plantas con 5 (ver figura 3). Los seres pluricelulares (primeros fósiles) surgen al final hace unos -700 ma, y con ellos se inicia la evolución hacia la adquisición de un mayor tamaño. Esto lo ha permitido su condición poligenómica.

En este largo periodo de ensayos evolutivos, hay mucha presencia de vida en la biosfera, aunque se trate de seres unicelulares (a menudo agregados o formando colonias³). La vida retira mucho CO₂ de la atmósfera (reduciendo el efecto invernadero) que en una gran parte -vía sedimentación- acabará dando origen a los grandes depósitos de combustibles fósiles. En el Proterozoico también se desarrollan mucho los foraminíferos (esqueleto calcáreo) y radiolarios y diatomeas (esqueleto silíceo) cuyos restos se integran en la litosfera para generar las rocas biogénicas (p.ej. calcitas precámbricas).

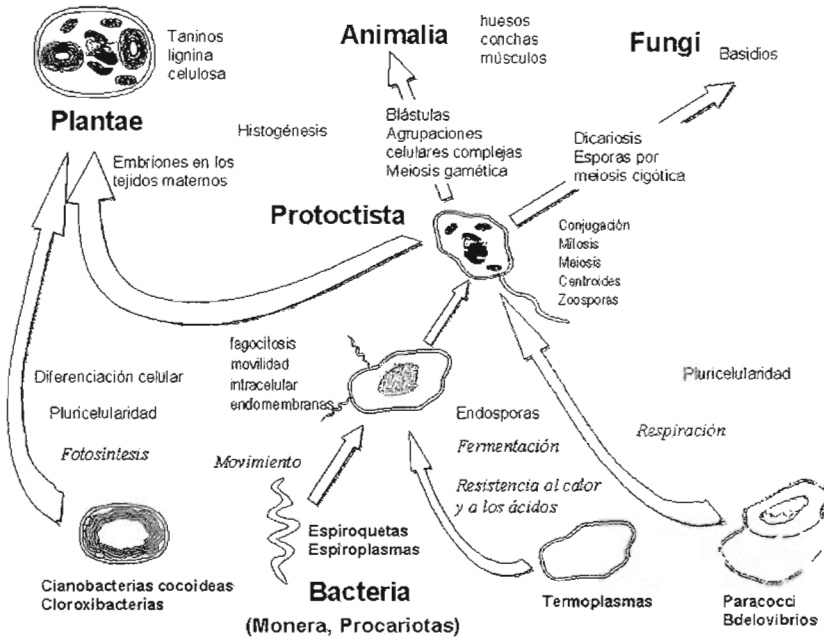


Figura 3. Teoría de la endosimbiosis serial (Pérez Ruzafa tomado de Margulis, 1999)

(3) Existe una nueva interpretación de la fauna del Ediacara como colonias de animales unicelulares y no como un supuesto grupo de organismos diblásticos que se extinguió.

Al inicio del Fanerozoico (-570 ma) y como consecuencia de la geodinámica terrestre se forman las primeras tierras firmes (Pangea I). La vida metazoica se diversifica mucho y conquista los continentes; primero vía palustre y luego las zonas más áridas (huevo amniótico y las semillas en las plantas surgen hace 500 ma). Los hongos aparecen como filum terrestre y se ocupan de formar suelo y de parte del transporte horizontal de materiales biogénicos en este medio. Los animales, por otra parte, adquieren esqueleto y conchas protectoras frente a los depredadores que hacen su aparición. También conquistan las tierras emergidas. Además, el esqueleto soluciona el problema de mantener la forma del cuerpo y, eventualmente, aumentarlo (una tendencia permanente en la evolución, limitada por la respiración). Las plantas descubrirán la celulosa y la lignina, más dura, que les permite construir estructuras persistentes en altura. El sistema nervioso de los animales se desarrolla mucho; surge el sistema inmunológico en los mamíferos, etcétera, etcétera.

Toda la biosfera se llena de vida, cada vez más compleja y variada. El resultado final, es la biodiversidad del presente. La vida es un sistema disipativo abierto lejos del equilibrio termodinámico (acumula información) y hay que entenderla como un sistema complejo adaptativo⁴. Variaciones en la información genética por recombinaciones o mutaciones provocan ventajas o desventajas operativas frente al medio, resultando que al final persisten –se seleccionan en términos de selección natural– las más adecuadas (o se pierden las menos eficientes). La nueva “información” queda incorporada al flujo histórico filogenético. Siempre que haya heterogeneidad y cambio exterior, este proceso adaptativo y de complicación progresiva es imparable y de ello resulta la evolución de las especies, ya que la vida se presenta en formas discretas diferenciadas (individuos > poblaciones > especies).

Acontecimientos en La Tierra en tiempo real y equivalente a 1 año

Origen de La Tierra	4.500 ma	1 enero
Roca más antigua	3.940 ma	10 febrero
Primer fósil seguro	3.556 ma	17 marzo
Océano y atmósferas normales	1.000 ma	1 octubre
Primer animal	800 ma	1 noviembre
Primera planta terrestre	400 ma	28 noviembre
Primer supercontinente	250 ma	10 diciembre
Extinción de los dinosaurios	65 ma	26 diciembre
Hombres	4 ma	31 diciembre, 18h
Fin del último glaciar	13.000 a	31 diciembre, 23h 56'20"
Jesucristo	2.000 a	14" antes de 24.00 h

(4) Estos son sistemas que “aprenden”. El lenguaje, el sistema inmunológico, etc. son ejemplos.

2.4. CAMBIOS Y EXTINCCIONES

La biodiversidad que conocemos en el presente es el resultado del desarrollo de la biosfera, de su historia, pero es la historia de los supervivientes. Existe un flujo normal o de fondo de especiación y de extinciones que obedece a los cambios graduales del medio (o deriva genética) o a perturbaciones de menor escala (algunas provocadas por la propia vida). La presión de los cambios graduales y pausados provocan por lo general, un aumento de biodiversidad.

Pero, en la historia conocida de la vida se han registrado al menos 9 grandes extinciones, llamadas masivas, que obedecen a grandes y bruscos cambios ambientales. Estas extinciones cercenan muchos experimentos de la evolución (desaparecen familias y grupos enteros), pero se abren a su vez nuevas oportunidades para otras formas de vida que toman el relevo. En estas ocasiones se suele incrementar la biodisparidad. Aparte de eventuales influencias exteriores –como el meteorito que provocó la extinción C/T del Maastrichtense⁵– el responsable de los grandes y súbitos cambios en la biosfera parece que es la Capa D", situada entre el núcleo externo y el manto de La Tierra. Es la estructura más activa y energética del planeta y está a temperaturas muy superiores a las necesarias para justificar un comportamiento caótico, aunque siempre se ha querido buscar periodicidad en las glaciaciones, extinciones, cambios climáticos, etc. La dinámica de la Capa D" provoca convecciones intermitentes en el manto, superplumas que alcanzan la corteza, abombamientos que motivan drásticas regresiones o transgresiones marinas, el desplazamiento de los continentes (ciclo de Wilson), etc.

La atmósfera > hidrósfera > litósfera presentan un orden decreciente de turbulencia y difusividad. La evolución geológica es más lenta que la de la vida, pero es más energética y más impredecible. Es un proceso histórico jalonado por importantes cambios (bruscos, en términos relativos) generados por lo común endógenamente en el Planeta. Estas

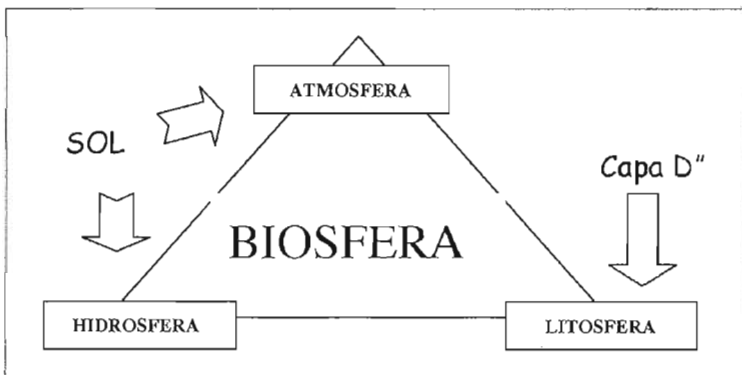


Figura 4

(5) Existen interpretaciones de origen endógeno para esta extinción, como el "Fatal Belch" propuesto por Belch (Science, 1995), que la atribuye a una súbita desgasificación masiva del CO₂ acumulado en un océano Atlántico con fondos anóxicos. Esto provocaría un repentino cambio climático global.

perturbaciones de gran escala son seguidas por la vida acomodándose a ellas con mayor o menor éxito (extinción > resurgir de vida), y constituyen un estímulo en la propia diversificación de la vida. La vida también se integra en el conjunto biosférico (acumulando materia orgánica en océanos que se cierran y vuelven anóxicos, modulando el clima, generando rocas biogénicas, trasegando elementos químicos, etc.) A la escala adecuada, todo cambia: no hay equilibrios.

3. ESTRUCTURA Y FUNCIONAMIENTO DE LA BIOSFERA

3.1. UN ECOSISTEMA CON MUCHA CLAUSURA

La biosfera (o ecosfera) constituye en su conjunto un ecosistema único: contiene a toda la materia viva y hay muy poco intercambio de materia con el exterior si incluimos a la litosfera en el sistema y las entradas/salidas de radiación y algunos átomos al espacio exterior. Su funcionamiento es, por lógica, algo más complejo que los tapetes microbianos expuestos en la sección anterior, pero al igual que éstos y cualquier ecosistema terráqueo, se organiza siguiendo un gradiente marcado por la luz y la gravedad (se mantiene oxidado por arriba y reducido por abajo).

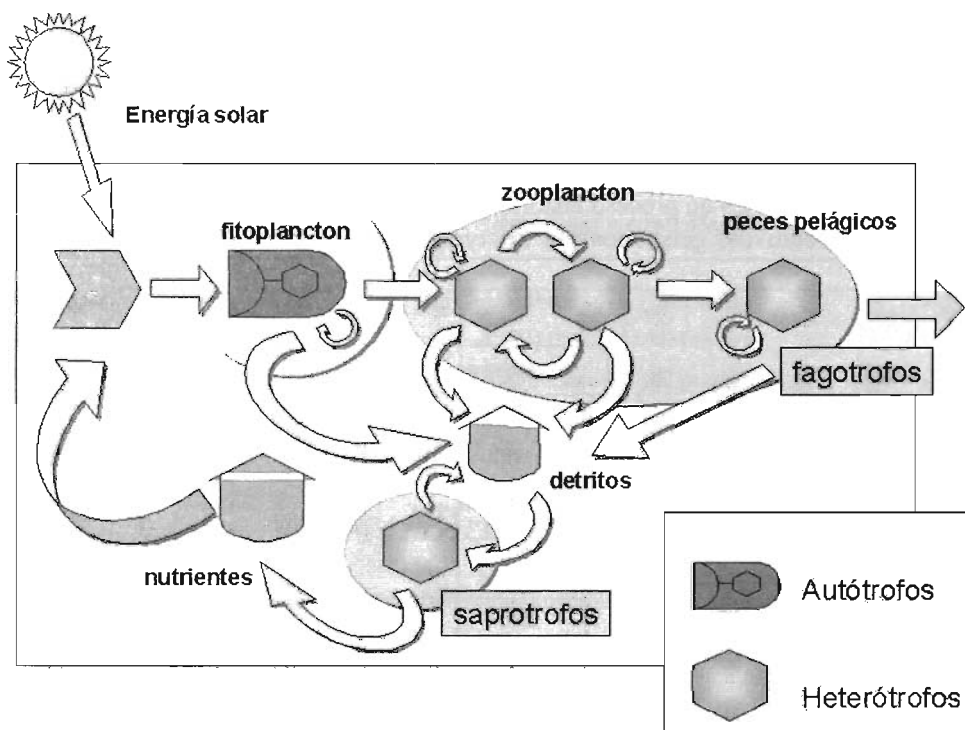


Figura 5. Modelo conceptual del flujo de energía endosomática en un ecosistema (modificado de Pérez Ruzafa, 1999).

La proporción de energía solar que aprovecha la materia viva (endosomática) es poca (2%) y se distribuye por ella según un modelo general que se repite: entra por los autótrofos (plantas fotosintéticas), una parte –vía biomasa– es aprovechada por los heterótrofos fagotrofos (herbívoros y carnívoros hasta 4-5 escalones máximo), y los restos de todos ellos los aprovechan los saprófagos que devuelven los nutrientes al medio, de donde los tomaron y pueden volver a tomar los autótrofos.

Este esquema básico varía en los dos grandes subsistemas de la biosfera: el terrestre y el marino.

- En los continentes la biomasa vegetal es muy grande y persistente (1-100 años), con baja tasa de renovación. Las biomásas se distribuyen: 99% plantas fotosintetizadoras, los saprófagos 0,9% y los carnívoros 0,1%.
- La biomasa fotosintética en los océanos es poca (del orden del 40%), pero se renueva en menos de una semana y permite la existencia de una considerable biomasa de carnívoros. Además, en el mar existe un “bucle bacteriano” en el que la biomasa de las bacterias que aprovechan el detritus (que es mucho) es explotada por microflagelados, éstos por ciliados y luego por el zooplancton y demás carnívoros.

<i>Grupo</i>	<i>Biomasa por km²</i>	<i>Renovación</i>	<i>Biomasa equivalente</i>
Peces	1.800 kg	1 vuelta cada 700 días	1.800 kg = 8,6 %
Plancton carnívoro	5.400 kg	1 vuelta cada 180 días	21.000 kg = 10%
Plancton fitófago	18.000 kg	1 vuelta cada 50 días	210.000 kg = 6 %
Plancton vegetal	10.000 kg	1 vuelta cada 2 días	3.500.000 kg

Ejemplo de una cadena trófica marina (Margalef, L'Ecologia 1985)

Lógicamente, un nivel trófico superior se sustenta sobre la biomasa viva del nivel trófico inferior, lo que implica una reducción del orden del 10% de la energía disponible. Por eso no pueden existir muchos escalones tróficos sucesivos (planta > herbívoro > depredador > superdepredador), aunque en cualquiera de ellos se pueden conectar cadenas laterales parasitarias, donde el tamaño del cuerpo (huésped, parásito, hiperparásito, etc.) decrece progresivamente en vez de aumentar. El resultado final son complejas redes tróficas que introducen cohesión en las comunidades o biocenosis locales, mientras que las migraciones complican un poco el conjunto a escalas geográficas mayores.

Además de comerse unos a otros (explotación), los individuos o especies pueden competir o cooperar entre sí, relaciones no tróficas que incrementan la llamada conectancia en los ecosistemas. A esto hay que añadir el alambicamiento que introducen las sustancias químicas (feromonas, exotoxinas, etc.), señales acústicas, comportamientos, coloridos, etc. que median en estas relaciones. Así, pues, la parte viva de la biosfera está interconectada a nivel territorio, disminuyendo las relaciones directas a medida que aumentamos la escala considerada.

3.2. LAS ENERGÍAS EXOSOMÁTICAS

El agua en movimiento transporta los nutrientes en el medio acuático, tanto a nivel de las pequeñas microturbulencias, como a gran escala, en los afloramientos de masas de aguas profundas que se producen en determinadas zonas del planeta (p.ej. a lo largo de costas donde soplan vientos paralelos a éstas). No olvidemos que en las aguas quietas, todo tiende a caer al fondo, nutrientes incluidos, por lo que son vitales los procesos en que éstos son repuestos a la zona fótica, donde puede aprovecharlos el fitoplancton.

En el medio terrestre los nutrientes se necesitan a nivel de las hojas, y es la evapotranspiración que se produce en ellas la responsable del ascenso de los nutrientes por el xilema. Estas energías implicadas en el movimiento de fluidos o evapotranspiración se denominan exosomáticas por ser externas al organismo vivo, aunque participan lo mismo que la endosomática (flujo trófico a través de la comunidad viva) en el funcionamiento global del ecosistema. En el caso de la evapotranspiración de las plantas, la exosomática adquiere valores del orden de 30 a 40 veces el de la endosomática.

Igualmente importante es el movimiento general de los fluidos terrestres (aire y aguas) para el reparto de la radiación incidente (calor) desde el ecuador hacia los polos, contribuyendo a la configuración de diferentes patrones climáticos. Todas estas energías son las que hacen funcionar la biosfera como ecosistema. La fuente principal es el sol, la gravitación y, en mucho menor escala, el flujo térmico del interior de la tierra. En el esquema adjunto se resumen las cantidades involucradas en estos procesos.

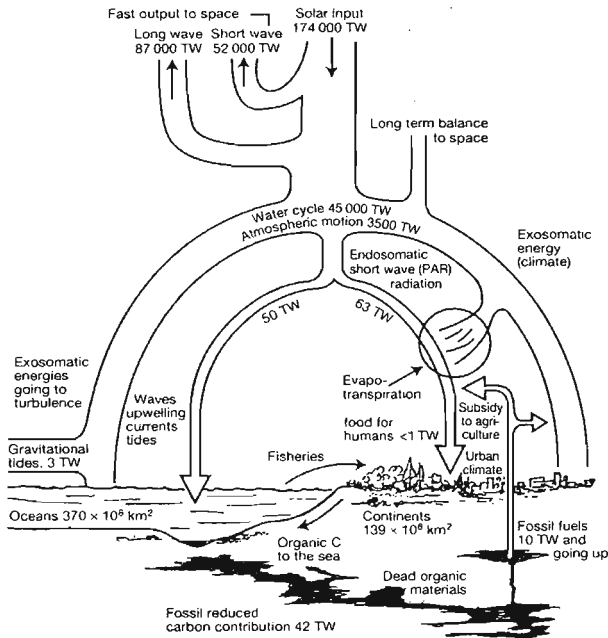


Figura 6. Flujo de energía en la biosfera (Margalef, Our Biosphere, 1997).

3.3. PRODUCCIÓN Y ZONOBIOMAS

La producción biológica depende de la superficie, luz incidente, suministro de agua y disponibilidad de nutrientes, mientras que la respiración es función de la biomasa. Ya comentamos que en la biosfera se pueden distinguir dos grandes subsistemas: el oceánico y el continental. Siendo el primero casi 2,5 veces mayor que el segundo, su producción global es inferior, pues la producción terrestre es prácticamente tres veces más eficiente que la del mar (aprox. 300 frente a 100 g C/m² año).

- Producción de los continentes 43.500 x 10⁶ t C/año 300 – 350 g C/m² año
- Producción de los océanos 36.500 x 10⁶ t C/año 60 – 110 g C/m² año
- Producción del planeta 80.000 x 10⁶ t C/año 157 g C/m² año

El valor promedio de biomasa de la biosfera es de 500 g C/m² y el de la producción neta, de 4,3 kg/ha/día (0,43 g/m²/día). La concentración de pigmentos fotosintéticos es mayor en el medio terrestre (1.400 mg/m²) frente al oceánico (350 mg/m²) aunque nunca está activa más de 500 mg/m² de clorofila.

Las principales diferencias entre los dos grandes macrobiomas del planeta quedan reflejadas en la siguiente tabla:

Características	Ecosistema terrestre	Ecosistema marino
Extensión	149 x 10 ⁶ km ²	361 x 10 ⁶ km ²
Factores que pueden comportarse como limitantes	precipitación, temperatura, concentración de nutrientes en el suelo	disponibilidad de luz, concentración de nutrientes y O ₂ disueltos
Espesor relativo de zona iluminada / no iluminada	> >1	< < 1
Espesor zona circulación de nutrientes	1 m	4.000 m
Responsable del transporte de nutrientes y agua	vegetación y hongos	corrientes de agua y animales
Producción primaria neta (valor promedio)	324 g C /m ² año 7,8 t M _{seca} / ha año	69 g C /m ² año 1,65 M _{seca} /ha año
Espesor de la zona donde tiene lugar la p. p. neta	desde el suelo hasta máxima altura de la vegetación	Zona fótica
Concentración de pigmentos fotosintéticos	1.400 mg /m ²	350 mg /m ²
Cantidad de materiales orgánicos poco degradables	Alta	baja
Biomasa descompuesta sin haber servido antes de alimento	Alta	baja
Biomasa animal / vegetal	1/10 hasta 1/100	1 / 1
Tasa renovación de los autótrofos	superior a un año	menor de una semana

Tomado de A. Escarré & Oikos (1997) Ciencias de la Tierra y el medio ambiente

Medio oceánico

Las variaciones en la producción y estructuración de las biocenosis en el ámbito oceánico no son tan acusadas (medio más homogéneo) como en el terrestre, pero también existen. La producción es máxima en zonas de afloramiento de nutrientes (a lo largo de costas continentales donde soplan vientos paralelos), en el bentos en general, en estuarios sobre plataforma continental (aportes terrígenos) y en los arrecifes coralinos donde se registran producciones comparables a los valores terrestres.

Se estima en un 7,6% la superficie total de los océanos que está a menos de 200 m de profundidad, y la producción de las algas en estas zonas apenas alcanza el 5% de la de los mares, a pesar de lo importante que son los aportes terrígenos en todo el litoral. Es paradójico que en las grandes cuencas oceánicas donde se acumulan los nutrientes, como ocurre en el Pacífico (respiración tres veces más alta que en el Atlántico), la nutriclina está por debajo de la zona fótica. Apenas hay producción primaria.

Medio continental

Al margen de la disponibilidad de nutrimento, son la temperatura y disponibilidad de agua líquida los principales factores limitantes de la producción en el medio terrestre. El reparto de estas dos variables por la heterogénea y cambiante superficie de los bloques continentales, ocasiona un gradiente general –con variantes locales– en la potencialidad de producir y acumular biomasa: mayor hacia el ecuador, disminuyendo hacia los polos. Las comunidades vivas se acomodan a estos gradientes y expresan en su fisonomía la resultante de cada situación local, pero a gran escala se pueden reconocer también los llamados biomas (o zonobiomas), jalónados latitudinal o altitudinalmente, y cuya fisonomía general es caracterizada por los diferentes tipos de plantas dominantes (árboles planifolios, coníferas, herbáceas, etc.)

B i o m a	Extensión 10⁶ km	Biomasa g C/m²	Producción neta g C/m² año	Índice de madurez*
Bosques húmedos intertropicales	24	3.000 – 40.000	1.000 – 1.500	9,63
Bosque esclerófilos	8,5	5.000 – 11.000	200 – 450	9,59
Bosques de coníferas	12	1.000 – 8.000	150 – 600	9,25
Bosques caducifolios	10	2.500 – 11.000	150 – 800	9,27
Sabanas, dehesas	15	1.000 – 1.500	100 – 700	5,30
Estepas y praderas, pastos	12	100 – 700	50 – 700	0
Matorrales y garrigas	18	40 – 4.000	15 – 100	9,75
Vegetación desértica	20	40 – 700	15 – 200	7,15
Tundra	8	120 – 700	40 – 60	9,15
Cultivos	15	150 – 1.000	300 – 1.000	0
Aguas dulces, marismas y turberas	4	60 – 7.000	40 – 500	9,28

(*) Índice de madurez = $(1-P/B) * 100$. (Val max. = 10, mínimo = 0)

Datos tomados de R. Margalef. Planeta Azul, Planeta Verde.

En la tabla adjunta se recogen algunos valores sobre biomasa y producción primaria neta de los principales biomas del planeta. El índice de madurez lo hemos confeccionado dividiendo la producción neta / biomasa y restando el cociente de 1 y multiplicando por 100. De este modo se obtiene un valor de mínima a máxima madurez que va de 0 a 10.

3.4. LA MIGRACIÓN DE LOS ELEMENTOS BIOGÉNICOS

El proceso básico que funciona en la biosfera consiste en construir materia orgánica y luego en destruirla. Vernadsky, quien primero se fijó en la migración de los elementos biogénicos (fundador de la Geoquímica), distinguía entre materia inerte, materia viva y materia viva inerte (necromasa). La composición de la primera es función del medio, mientras que la de la materia viva, es función de si misma.

Los elementos biogénicos o constituyentes de la materia viva (H_2O , C, N, P, S, Fe, etc. por orden de importancia) pasan un tiempo “de residencia” en las sucesivas biomasa hasta que son degradados y liberados de nuevo al medio en condiciones de volver a ser usados. Los tiempos de residencia en la biomasa varían mucho. Algunos, como el carbono, tienen formas muy duraderas en la celulosa y lignina, acumulándose como necromasa en los ecosistemas.

La restitución de los elementos biogénicos al medio ocurre a veces muy lejos de donde pueden ser vueltos a aprovechar, y es necesario que exista un transporte. Las plantas –vía evapotranspiración– se ocupan de llevarlos del suelo a las hojas y en el mar, es la turbulencia de las aguas y los movimientos ascendentes (afloramientos) quien hace esta tarea. Por eso en el mar la producción es función de la turbulencia.

Los ecosistemas maduros tienden a reciclar los elementos biogénicos en su interior, pero ello no impide que, a nivel global, a nivel de biosfera, tenga que existir un reciclado general de estos elementos so pena que todo el sistema colapse por falta de nutrimento. Existe una integración por acoplamiento, un reciclado general a gran escala en el seno de la biosfera. Son los llamados ciclos biogeoquímicos.

Hay elementos que circulan principalmente a través de la atmósfera en forma gaseosa (C, N y O) y otros a través de los sedimentos en la litosfera (P y S), a ritmos mucho más lentos. Por supuesto, todos estos ciclos están vinculados al ciclo hidrológico, ya que el agua es el disolvente general y canal de la vida.

En estos procesos participa la vida activamente –una suerte de fisiología global– y a ello se debe la peculiar composición de la actual atmósfera y de las aguas, que están fuera de equilibrio químico. La presencia de alto contenido en O_2 y N_2 , de CH_4 (producido por bacterias metanógenas del rumen, termitas, etc.) y la baja concentración de CO_2 que se aprecia en la atmósfera actual es función activa de la vida. El metano debería estar oxidado (pero se repone continuamente) y el nitrógeno debería dar nitrato en presencia de oxígeno, pero su alta concentración es mantenida por el proceso de desnitrificación que ejercen las bacterias.

En casi todos los ciclos tienen parte activa y crucial los microorganismos; particularmente las bacterias. Se puede afirmar que la biosfera sigue siendo

fundamentalmente bacteriana y funciona gracias a las propiedades metabólicas de estos organismos. Recordemos, además, que la mayoría de los metazoos tienen microorganismos simbiotes asociados⁶. La simbiosis es también un sello característico de la biosfera y en reconocimiento de este hecho de gran trascendencia metabólica, Lynn Margulis ha titulado uno de sus últimos libros, “*The Symbiotic Planet*” (1998).

El contenido actual de CO₂ de la atmósfera es unas 30 veces menor del que le correspondería si no hubiera vida (atmósfera inicial de La Tierra). En tierra firme su reacción con silicatos y carbonato cálcico es activada por los microorganismos del suelo y en el mar existe un gran depósito; también en la necromasa terrestre (humus, detritos, etc.) y en los grandes depósitos de hulla, lignito y petróleo acumulados a lo largo de la historia de la biosfera. Estos depósitos de carbono aparcado permite mantener el balance de alto contenido de oxígeno atmosférico. De volver a la biosfera activa se combinaría para restituir el balance de CO₂ original (fotosíntesis y respiración son antagónicos).

Si todo este CO₂ disuelto en el mar (200 veces más que en la atmósfera) volviera a la atmósfera (hay una válvula viva que lo impide) alcanzaría una proporción del 3% y el efecto invernadero haría inhabitable la superficie de los continentes. Se cree que, a menor escala, esto ha ocurrido varias veces en el pasado y de ahí parte de los grandes cambios climáticos (alternancia entre acumulación en cuencas anóxicas y posterior liberación).

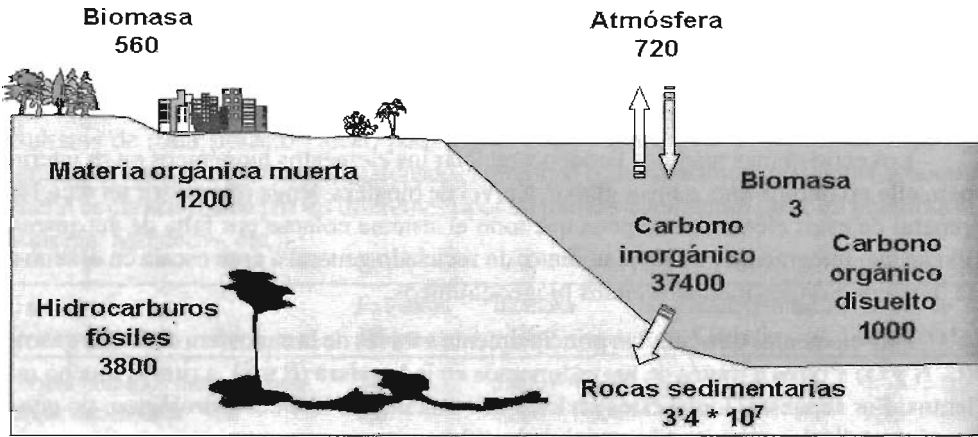


Figura 7. Principales compartimentos de carbono en la biosfera en Gt (dibujado por Pérez Ruzafa, de acuerdo con O'Neill en Rodríguez, 1999)

En la actualidad hay un incremento anual del 0,4% (casi 3 Gt C al año) procedente del uso de combustibles fósiles por parte del hombre a pesar de que la vida “bomba” continuamente carbono hacia el interior de los océanos (sedimentación de M.O.).

(6) El 94% de las plantas desarrollan micorrizas. Son excepción las crucíferas, quenopodiáceas, ciperáceas, cariofiláceas y proteáceas.

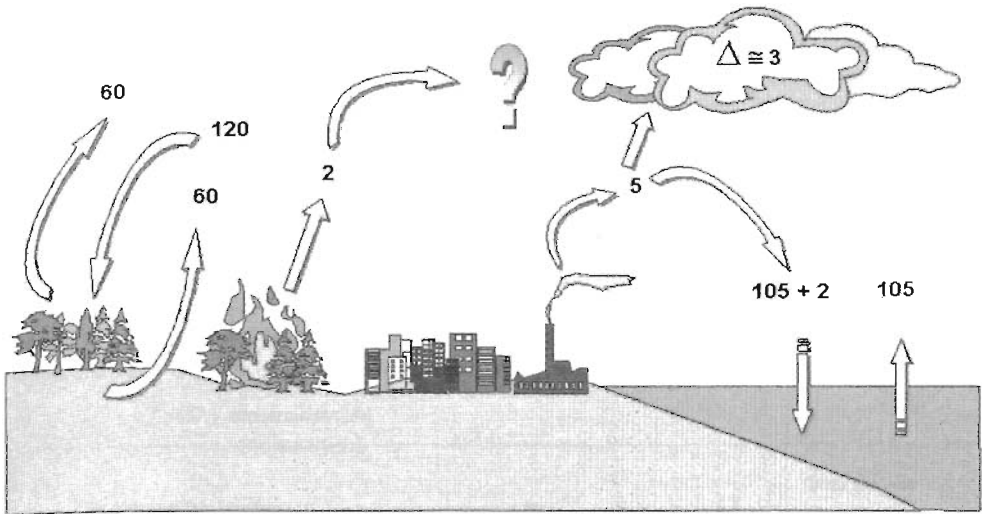


Figura 8. Balance de flujos de carbono en la biosfera en Gt de C/año (dibujado por Pérez Ruzafa a partir de Schlesinger en Rodríguez, 1999)

El fósforo entra en la biomasa como fosfato. Romper este grupo requiere una energía superior a la que maneja la vida y por eso el fósforo recicla en esta forma de oxidación (5+). Además, el fósforo se pierde en las cuencas oceánicas por sedimentación de la materia orgánica o es bloqueado como hidroxifluorapatito que es insoluble. La mayor parte de los sedimentos contienen cerca de 1% peso seco de fósforo. Es lo que Margalef llama el “impuesto en P”.

Fósforo en superficie oceánica	0,3 mg /m ³
Fósforo en fondo de cuenca oceánica	30 – 50 mg /m ²
Tiempo permanencia en sedimentos	2 – 6 millones de años
Pérdida anual por sedimentación	3-5% del circulante

Al no estar regulado por los microorganismos su ciclo, la reposición del fósforo depende de la meteorización del fosfato cálcico de las rocas y su reciclado geoquímico –vía fosforitas– que es muy lento, del orden de 10^7 – 10^8 años. Consecuentemente, el fósforo es el principal limitante de la producción biológica; sobre todo en el medio marino. Se le puede considerar el regulador de la producción de la biosfera.

3.5. LA SUCESIÓN ECOLÓGICA

En ecosistemas jóvenes la biomasa produce un exceso de biomasa que se acumula, incrementándose progresivamente hasta alcanzar los niveles máximos permitidos por los condicionantes del entorno (radiación, temperatura, agua, nutrimento), situación en la que prácticamente todo lo que se produce se emplea en el mantenimiento de la propia biomasa (respiración). Entonces se dice que ha alcanzado madurez.

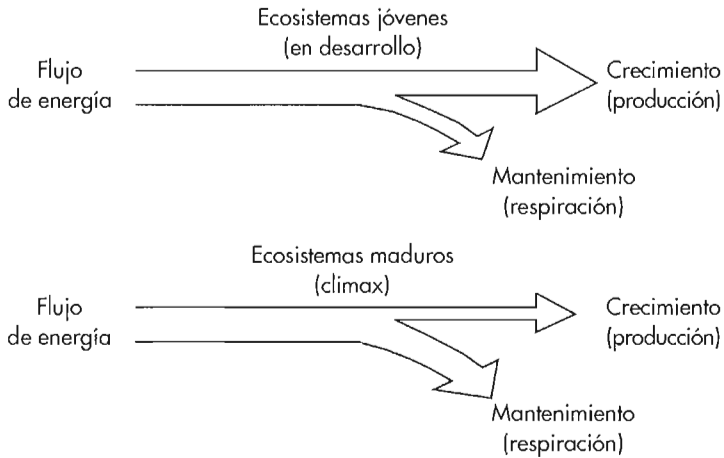


Figura 9.

Esta tendencia de cambio para alcanzar un estado de máxima biomasa con el mínimo consumo de energía es universal en la biosfera y el proceso que conduce a ello se denomina sucesión ecológica. A medida que se acumula biomasa se van transformando las condiciones iniciales y nuevas especies encuentran acomodo, mientras que otras van quedando relegadas hasta desaparecer (en la mayoría de los casos). Las propias especies provocan los cambios que cierran o abren opciones. Al principio los cambios son más rápidos, luego se ralentizan. En definitiva, la sucesión la generan las especies, aunque la inicie un cambio brusco en el sistema (*reset*).

Este tránsito e incremento progresivo de especies (con individuos mayores y más persistentes, por lo común) es la parte más llamativa de la sucesión. La comunidad se autoorganiza, estructurándose y complicándose cada vez más. Ahora bien, toda perturbación importante (Principio de Sagan) de un ecosistema lo revierte a estados más jóvenes, más simples, de manera más o menos súbita. Pero una vez transcurrida la perturbación o liberado del estrés que haya provocado el salto atrás, se implanta de nuevo la sucesión, lentamente, y lo desordenado tiende hacia un nuevo orden, normalmente parecido al que existió antes, pero nunca igual (otras especies, otra disposición, etc.).

Cuando los ecosistemas alcanzan su estado de madurez ("clímax") acumulan gran diversidad de especies, su tasa de renovación es más baja, optimizan el reciclado interno, el transporte de nutrientes tiende a ocurrir en la vertical (transporte horizontal reducido) y exportan poco (tendencia a la clausura). Esta situación les confiere relativa estabilidad; es decir, no hay cambios de estado en el sistema, aunque lo haya en alguno de sus elementos. Hasta la próxima perturbación.

De ahí, que las áreas no sometidas a alteraciones suelen ser un archivo de especies (alta biodiversidad) e información. Y a muy largo plazo, estas áreas adquieren "nuevas"

especies que se originan en su seno por evolución *in situ*. Es la “barroquización” de la naturaleza, en términos de Margalef (y quizás del “plateresco florido”, en las selvas tropicales). Hay autores que han interpretado la evolución de la biosfera como un fenómeno equivalente a una sucesión “global” (igual principio variacional).

Es asimismo común encontrar que ecosistemas jóvenes o subsistemas muy energéticos y dinámicos (=poca información-biomasa) están acoplados a sistemas más maduros y autoorganizados (=mucha información) que explotan la mayor producción y excedentes de los primeros, o los fuerzan a un mayor dinamismo. Este principio es aplicable a diversas escalas: atmósfera/océano, biotopo/comunidad o plantas/animales. En estos ejemplos, el segundo componente contiene y adquiere más información en cualquier intercambio⁷, y consecuentemente ejerce más control sobre el primero. Lógicamente,

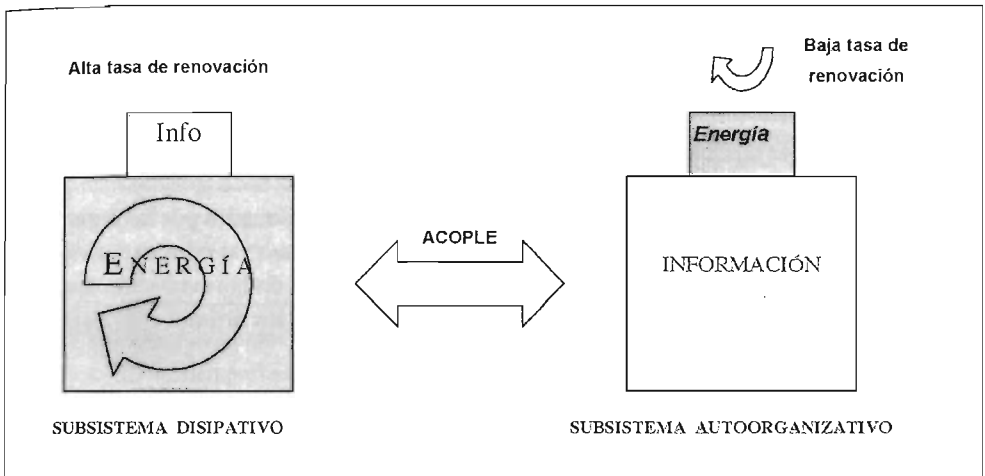


Figura 10. Tomado de Machado, La vida en perspectiva (1999)

estas relaciones de acoplamiento también contribuyen a cohesionar el funcionamiento global de la biosfera, pero impiden una sucesión común.

Como quiera que la sucesión es una tendencia general y ocurre a mayor o menor escala espacial y temporal, el resultado es el mosaico de la naturaleza que todos conocemos, donde además hay mucho de fenomenología caótica (caos importado por las perturbaciones). Recuérdese también que se da una relación inversa entre la frecuencia y la intensidad de las perturbaciones ($F = I^{(1/f)}$), es decir, que hay muchas más perturbaciones menores que grandes perturbaciones.

(7) Se ha definido como Principio de San Mateo, el que expresa que en un intercambio entre dos sistemas, siempre adquiere más información relativa el que inicialmente tenía más.

Tanto a nivel del funcionamiento ordinario de la biosfera, como a lo largo de su desarrollo desde el Arqueozoico, las perturbaciones han tenido un papel dinamizador fundamental, provocando a la escala adecuada sucesión ecológica y evolución biológica, los dos fenómenos que mejor caracterizan la dinámica de la parte viva del planeta. Las perturbaciones son la manera de introducir “historia” (contingencia) en un sistema que es complejo, adaptativo e irreversible.

4. LA ESPECIE HUMANA Y LA PSICOSFERA

Si juntamos 4 personas en un metro cuadrado, toda la humanidad cabría –apretujada, obviamente– en la isla de Tenerife (2.050 km²), sin tener siquiera que ocupar el Parque Nacional del Teide. ¿Por qué una biomasa tan reducida (10⁻⁵ veces el total) ha tenido un impacto tan importante en la biosfera, de modo que ya no se entiende el comportamiento de la mayor parte de los ecosistemas sin su concurrencia?

4.1. EL IMPACTO DE LA CIVILIZACIÓN

En el presente es fácil reconocer los grandes impactos ocasionados por la humanidad a escala biosférica, sin soslayar los riesgos potenciales como el nuclear o los experimentos en física subatómica⁸. Esta influencia antrópica, iniciada a raíz de la revolución agrícola (-10.000 años), se ha generado o intensificado drásticamente en los últimos 200 años, tras la llamada revolución termoindustrial.

Algunos impactos están en discusión (cambio climático) y otros son más sutiles, como el trasiego de especies que realiza el hombre por todo el planeta, o la alteración producida en el ciclo normal del agua (embalsado, entubado, etc..) impidiendo que haga su función erosiva, que en casos como el del fósforo, es fundamental para su liberación y reciclado. Existe copiosa literatura sobre todas las calamidades que ha generado el hombre y la llamada crisis ecológica, que a lo más será una crisis ambiental (v. Valledor, 1999). Nos limitaremos pues a enunciar las más importantes:

Problemas ambientales

1. Vegetación destruida (bosques tropicales, desertización, etc.)
2. Suelos arruinados (erosión; contaminación)
3. Cambio climático (aumento CO₂, destrucción capa O₃)

(8) El País, Agosto 1999. Científicos reunidos en Brookhaven (EEUU) para estudiar si el experimento previsto en Long Island de acelerar iones pesados con altas energías similares a las del Big Bang (quarks extraños o *stranglets*) es capaz de destruir el planeta entero.

4. Traslado de especies

5. Especies extinguidas (mérma de la biodiversidad)

De todos estos impactos, si el hombre desapareciese de un plumazo de la faz de la Tierra, son los números 4 y 5 los que no se recuperarían por mucho tiempo que mediase. Con todo, la biosfera ha pasado por grandes extinciones y trances similares y peores que el presente. La supuesta velocidad que le atribuimos a “nuestro” impacto fue seguramente superada con ocasión del choque del meteorito que gatilló⁹ la gran extinción de finales del Cretácico. Margalef (1991) destaca que el manejo de energía por parte del hombre ronda los 16 kw /km² equivalente a la máxima del viento sobre el suelo o el mar. La media en Estados Unidos alcanza los 318 kw/km², pudiendo llegar a picos de 630.000 en Manhattan). Los problemas reales surgirán cuando el hombre controle niveles del orden de los 210.000-240.000 kw/km², que corresponden a la diferencia entre la energía absorbida y la emitida por La Tierra.

*Distribución de la humanidad por biomas. Tomado de Gaston & Spicer, 1998
(ordenados por orden decreciente de impacto)*

<i>B i o m a</i>	<i>Extensión en 10⁶ km</i>	<i>Area no alterada (%)</i>	<i>% área parcialmente alterada</i>	<i>área dominada por el hombre %</i>
Bosque templado caducifolio	9,5	6.1	12.0	81.9
Bosque esclerófilo siempreverde	6,6	6.4	25.8	67.8
Prados templados	12,1	27.6	32.0	40.4
Sistemas montanos mixtos	12,1	29.3	45.0	25.6
Bosques tropicales secos	19,5	30.5	41.1	45.9
Pluvisilvas subtropicales y templadas	4,2	33.0	20.9	46.1
Desiertos y semidesiertos fríos	10,9	45.4	46.1	8.5
Sistemas insulares mixtos	3,3	46.6	11.6	41.8
Desiertos y semidesiertos calientes	29,2	55.8	32.0	12.2
Selva tropical húmeda	11,8	63.2	11.9	24.9
Pastos tropicales	4,8	74.0	21.3	4.7
Bosques de coníferas templados	18,8	81.7	6.4	11.8
Tundra y desierto ártico	20,6	99.3	0.7	0.3

(9) Maturana y Varela (1990) emplean el término “gatillar” para referirse a los cambios que son desencadenados (no determinados) por una interacción externa sobre un organismo, siendo la estructura y propiedades de éste, el que determina el cambio en sí. El factor externo solo “gatilla”. Esto es aplicable a cualquier sistema organizado.

La relevancia objetiva del hombre en el planeta o en la evolución ya ha sido considerada en la ciencia –o metaciencia– por diversos autores: Buffon (1707-1788) establece un reino aparte para el hombre: Psychozoa. J. Le Conte (1823-1901) habla de la Era Psychozoica y Pavlov (1854-1929) de la Era Antropogénica a la vista de la función geológica del hombre. Algo más tarde, V. I. Vérnadsky (1945) populariza el concepto de noosfera¹⁰ (“esfera de la inteligencia”), pensada como una biosfera dirigida y organizada por el hombre (como marxista que era¹¹). El concepto lo toma de Le Roy (1927), filósofo, y Teilhard de Chardin, sus amigos. Vernadsky habla del advenimiento de la noosfera y en la actualidad cuenta con muchos seguidores¹². Más recientemente Josep Peñuelas (1988) introduce el término de antroposfera para designar la esfera del hombre, una antroposfera que explota a la biosfera. Es cierto que la explotación la practican casi todas las especies, pero en el caso de la nuestra, se dan ciertas singularidades.

4.2. CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS DE *HOMO SAPIENS*

La especie humana se distingue de las demás especies de la biosfera por la mente, que deriva de su gran cerebro (máximo volumen relativo). La mente le confiere capacidad de reflexión, autoconsciencia (incl. la muerte) y de proyectar acción sobre el futuro. Ha evolucionado, según parece, en conjunción con el lenguaje que, siendo metainformación, le facilita la comunicación y cooperación con sus semejantes. Esta novedad ha abierto un nuevo canal evolutivo, el desarrollo del intelecto individual y colectivo. La evolución cultural que de ello resulta es “lamarckiana”, en el sentido de que lo “aprendido” puede pasar directamente a la generación siguiente. De este modo, la evolución cultural es mucho más rápida que la biológica y contribuye de manera decisiva a la tendencia general que se aprecia en el universo, de acumulación y aceleración de la información. Sobre esto también se ha escrito mucho y el lector encontrará muchos libros y buenos¹³.

Además, el hombre no solo transmite información –incluido instrucciones– a distancia, sino que la acumula y manipula en depósitos externos (libros, ordenadores, etc.), alguno de los cuales (Internet) son accesibles a cualquier individuo de la especie convenientemente equipado e independiente de su ubicación geográfica.

El gran éxito de la especie humana –y de ahí su impacto– radica en la manipulación de las energías exosomáticas que amplifica y canaliza, además de obtener energía directamente de los combustibles fósiles, energía nuclear, etc. Esto, combinado con el

(10) Su artículo “La biosfera y la noosfera” apareció publicado en 1945 (*American Scientist*, 33,1), después de su muerte (6-1-1945).

(11) “La filosofía marxista considera que el problema más importante no coincide en comprender las leyes del mundo objetivo para estar en condiciones de interpretarlo, sino en aplicar el conocimiento de esas leyes para transformar activamente el mundo”.- *El Libro Rojo*, Fundamentos, Madrid, 1976, pp. 218-219.

(12) Una búsqueda de “noosfera + ética” en Internet con AltaVista dio 3.260 páginas Web.

(13) Particularmente interesantes son el libro de Humberto Maturana y Francisco Varela (1999), sobre las bases biológicas del conocimiento humano, o las obras de Blackmore (1999) y Heyes & Huber (2000).

conocimiento cada vez más profundo del funcionamiento de lo que le rodea y de sí mismo, le ha permitido dominar muchos procesos y, en cierta medida, eludir ciertas restricciones biológicas (vía medicina). Algunos autores afirman que nuestra especie ha escapado a la evolución genética ordinaria por selección natural. La selección cultural es más fuerte.

La tecnología del hombre crea artefactos —llamados organismos de segundo orden (que tienen su propia evolución)— que, a modo de “simbiontes” le ayudan a controlar el medio y a acomodarlo a sus necesidades con una eficacia extraordinaria. Esto también lo hacen especies eusociales como las termitas, pero a su escala. El transporte de materiales y de sí mismo empleando máquinas autopropulsadas, es una suerte de fofoesia novedosa y otro de los éxitos de nuestra especie, si bien la contaminación que lleva aparejada es una consecuencia indeseable.

Los ecosistemas naturales tienden al incremento de estructura y complejidad por unidad de flujo de energía, una suerte de estrategia de máxima estabilidad y protección que hemos definido como madurez en términos de sucesión. Mientras, el hombre, con su capacidad tecno-ecológica —consecuencia de la mente— explota y fuerza la biosfera con el propósito de obtener de ella la máxima producción, el máximo rendimiento posible. Pero explotación y madurez son opuestos. Además, esto se hace de manera torpe, despilfarrándose mucha energía que acaba también por forzar a los ecosistemas, simplificándolos. Se acumulan desperdicios, los ciclos se retardan, etc.

Muchas de estas características las presentan otras especies animales de la biosfera, si bien con notorias diferencias cuantitativas. Margalef, por ejemplo, compara nuestra costumbre de alejar los residuos con la de los copépodos del plancton, que sueltan sus deyecciones compactadas y recubiertas por mucílago en la parte baja de la zona fótica, para que sedimenten rápido y se disgreguen lejos de donde ellos viven. Por otra parte, la tendencia a controlar las energías exosomáticas ha evolucionado en varios grupos —estromatolitos, corales, hongos, árboles, animales eusociales (s. Wilson) e insectos sociales—, pero con mucho menos éxito que la humanidad.

Además de estas diferencias cuantitativas, hay otras de orden cualitativo, como son el propio mecanismo de evolución cultural a través del lenguaje, y ciertas capacidades exclusivas adquiridas vía desarrollo intelectual. Los retazos de cultura registrados en algunos grupos de primates próximos y el empleo de instrumentos rudimentarios, no pueden equipararse en modo alguno con la alta tecnología del hombre. Así, nuestra especie ha sido capaz de crear elementos químicos artificiales¹⁴ o manipular los genes, cosas que ninguna otra especie ha hecho hasta el presente. Hay que destacar, que no se trata ya de la obtención de razas o cultivares por selección artificial (emulando la natural), sino la reciente capacidad adquirida para producir clones y seres transgénicos. Estos genomas

(14) Neptunium y plutonium (1940); americium, curium, berkelium, californium, einsteinium y fermium (1944-1952), medeleevium (1955), nobelium (1958) y lawrencium (1961) que duró 8 segundos.

recombinados o manipulados *ex profeso* no han sido “testados” por la evolución y esto también representa algo totalmente nuevo.

En la biosfera del futuro van a coexistir especies “artificiales” junto a las naturales, y las dudas sobre su “encaje” en los ecosistemas ya han despertado en la sociedad justificada inquietud. También es muy probable que el hombre no se resista a manipular su propio genoma, por mucha controversia ética que ello levante. En cualquier caso, todo esto hay que valorarlo objetivamente como una nueva capacidad bio(tecno)lógica abierta por la mente. Lo mismo que la posibilidad de abandonar la biosfera en aeronaves o la de transmitir información estructurada fuera de ella hasta los confines del universo. Son fenómenos absolutamente nuevos en el planeta, como lo es la propia existencia de una mente reflexiva.

Capacidades ecológicas

- Capacidad de lenguaje (con ventanas hacia la música, la poesía y la ficción) y de recuperar registros escritos, sonoros y visuales del pasado.
- Crear conceptos nuevos con valor de cambio desconocidos en ecología natural (p.ej. el dinero, obras “de arte” = elementos no operativos o funcionales).
- Extraer energía en su interés de varias fuentes: combustibles fósiles, mareas, hidráulica, biogas, etc.
- Manipular el fuego y las energías exosomáticas (las canaliza y amplifica).
- Diseñar y construir artefactos “simbiontes” (herramientas, máquinas, máquinas que hacen máquinas, etc.) de empleo directo o que funcionan con energía exosomática.
- Crear elementos químicos nuevos y moléculas artificiales, algunas para combatir a especies competidoras (plagas, etc.).
- Emplear máquinas para transporte de materias, energía, especies y a sí mismo.
- Domesticar y cultivar especies en su interés (agricultura, ganadería, piscicultura y biotecnología), normalmente de forma forzada.
- Clonar individuos y crear nuevas especies (de momento, solo bacterianas).
- Proyectar información (e instrucciones) a distancia (telefonía, radio, televisión) y en el tiempo empleando depósitos externos (libros, grabadoras).
- Acondicionar el medio (viviendas, almacenes, ciudades, etc.) o a sí mismo (vestimenta) para buscar confort ambiental.
- Curarse enfermedades y desperfectos físicos con relativa eficacia.

Consecuencias ecológicas

- Explota y fuerza los ecosistemas a pequeña y gran escala, simplificándolos y devorando eco- y biodiversidad: reinicializa las sucesiones.
- Acelera los flujos y retarda los ciclos (contaminación, residuos, etc.).

(15) Resulta un ejercicio entretenido el pensar como sería la biosfera actual si el hombre fuese una especie acuícola marina. De entrada, el planeta se llamaría La Mar, y no La Tierra.

- Oxida la biosfera y merma los depósitos de carbono fósiles.
- Inicia un calentamiento global del clima (incremento de CO_2 en la atmósfera).
- Altera el ciclo del agua (con impacto en la meteorización de suelos y rocas = menos nutrientes).
- Altera las floras y faunas locales (especies introducidas, extinciones).
- Deja tras de sí cantidad de estructuras exosomáticas (ciudades, viarios, etc.) generando mucha fragmentación.
- Transforma la fisonomía (continental) de la biosfera¹⁵: mosaicos, etc.
- Introduce moléculas recalcitrantes (pesticidas, plásticos, etc.) en la biosfera.
- Introduce un nuevo patrón temporal (la semana).
- Aumenta la conectancia general de la biosfera.

4.3. LA MATERIA PENSANTE, UN NUEVO PARADIGMA

Aparte de por su bipedismo, digitación manual y sexualidad extendida, la parte biológica de la especie humana no destaca sobremanera sobre sus parientes próximos u otras especies (no vuela, por ejemplo, y su olfato es pobre). Lo que hace al hombre diferente es su capacidad intelectual, su mente.

La mente surgió en el cerebro humano a través de la evolución biológica. Y, tal como nosotros la interpretamos, es una propiedad emergente de la vida, al igual que la

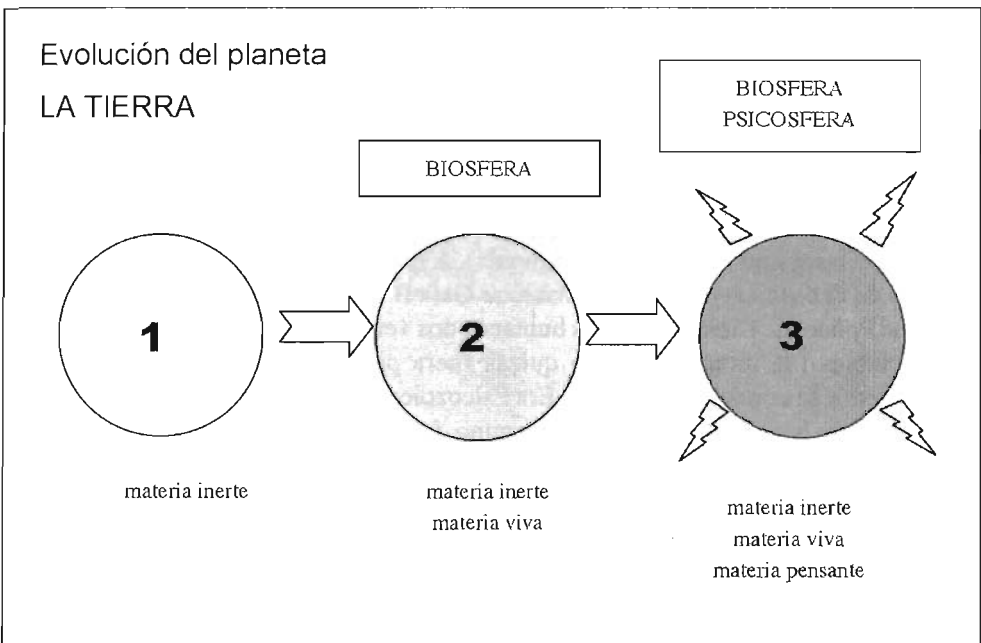


Figura 11.

vida surgió a través de una evolución química (prebiótica), como una propiedad emergente de la física y la química. La física y la química condicionan a la vida que ha de “cumplir” con las restricciones que le imponen, pero no la definen en su totalidad. La psique es restringida por la vida y a su vez por la física y la química, pero tampoco la definen en todas sus propiedades. Esto es una característica de las llamadas propiedades emergentes, que van más allá de sus propias bases, aunque cumplan con todas sus restricciones. En definitiva, la mente no es vida, es algo más.

Christian Huygens (1629-1695) ya planteó la vida como un fenómeno cósmico (*Cosmotheoros*), y Vernadsky afirmaba que “la vida es un fenómeno cósmico en cierto modo claramente distinto de la materia inerte”. En la misma línea argumental, cabe decir que el pensamiento es un fenómeno cósmico en cierto modo claramente distinto de la materia inerte y de la materia viva.

Por eso, nos parece apropiado considerar que ahora hay un nuevo tipo de materia, la materia pensante, que coexiste en el planeta con la materia inerte y la materia viva. Las capacidades y efectos de la especie humana que hemos descrito en el apartado anterior están vinculadas a la materia pensante, aunque se aproveche de la materia viva (y su química) para su expresión y operatividad. El pensamiento tiene base material.

Es difícil anticipar el alcance de esta nuevo sistema emergente, como lo sería en su día la aparición de unas minúsculas vesículas replicantes en la sopa primordial (se sabría muy poco de la vida, entonces). Estamos en el mismo inicio de una nueva evolución –la cultural / intelectual– solo que, al ser mucho más rápida que la biológica, ya está dejando su impronta en la historia de la biosfera, y en un tiempo récord.

4.4. LA PSICOSFERA, UNA NUEVA REALIDAD

Conviene destacar de algún modo que La Tierra es ahora un planeta con materia pensante, que, entre otros logros, ha rebasado sus fronteras en forma de mensajes soportados sobre ondas electromagnéticas (también se han enviado algunas sondas espaciales = materia altamente estructurada). A este nuevo planeta –seguramente muy ruidoso en el cosmos– se le podría bautizar Gaia II o hablar de una antroposfera como propone Peñuelas. Ciertamente es que los humanos nos vemos como un todo, mente y cuerpo indisolubles (de momento), pero quizás fuera preferible elegir un término como «psicosfera» en concordancia con la Era Psicozoica de Buffon, y destacar así que es la psique, la que hace la diferencia¹⁶. El término de «noosfera» (el área de la inteligencia) de Teilhard de Chardin también sería apropiado, pero tiene demasiadas implicaciones morales. O quizás fuese más simple recuperar el término de «ecosfera» por ser más neutro e integrador.

(16) Hay un juego de ordenador «SimEarth» que simula situaciones evolutivas en nuestro planeta. En algunas situaciones la mente surge en otras especies diferentes a la humana (reptiles, p.ej.).

En su libro sobre «*Ecología, entre la magia y el tópico*», Jordi Flos (1984) escribe: «No tenemos una teoría ecológica que explique íntegramente lo que ocurre en la naturaleza. Algún principio físico básico se nos escapa. Probablemente sea la información». Bien, nosotros no tenemos dudas al respecto. La termodinámica se ha ocupado clásicamente de las transferencias entre materia y energía, dejando de lado la información, una propiedad o descriptor de la materia tan escurridizo como lo pueda ser la entropía, que le es de signo contrario. Hace falta desarrollar una termodinámica de la información para comprender mejor el funcionamiento de la naturaleza y, por supuesto, para poder abordar no solo el funcionamiento de la mente, sino el de una ecología en la que opera la mente y sus nuevas modalidades de conectancia. Quizás sea la cuarta ley de la termodinámica o “ley ecológica” (v. Johnson, 1994) la piedra filosofal que tanto estamos demandando.

En cualquier caso, nos parece que los intentos de la actual sociedad por gobernar el planeta en equilibrio o armonía «hombre–naturaleza», o buscando el llamado desarrollo sustentable, tienen un gran valor ético, pero poco práctico. Estamos basando estos intentos en nuestros mejores conocimientos de una Ecología “biosférica” sin percatarnos que estamos inmersos en un planeta con biosfera y psicofera, y que ambas interactúan y están tan acopladas como lo está la biosfera en las otras capas externas del planeta. Necesitamos una nueva Ecología que integre la información en su cuerpo doctrinal. Puede que a través de ello se encuentre el ansiado vínculo o la base común con la Economía, también sustentada en la información. Y tal vez por este camino podamos entender mejor como funciona una “ecosfera” que además de materia viva, alberga materia pensante en su interior.

«The entropy cost, direct and indirect, of burning stores of reduced carbon, recycling many materials, reorganization of the landscape and “bioremediation” need to be accounted for in the frame of a new conception of a biosphere that is becoming the true backyard of mankind.»

R. Margalef, 1997, *Our Biosphere*

BIBLIOGRAFÍA

- Anguita Virella, F., 1988. *Origen e historia de la Tierra*.— Ed. Rueda, Alcorcón, 525 pp.
- Blackmore, S., 1999. *The meme machine*.— Oxford University Press, Oxford, 264 pp.
- Brockman, J. (ed.), 1996. *La tercera cultura. Más allá de la revolución científica*.— Tusquets Editores, Barcelona, 391 pp.
- Cole, L. C., 1975. *La Ecosfera*.— pp. 11-17, in: Selecciones de Scientific American. *El hombre y la ecosfera*.— Madrid: Editorial Blume, 341 pp.
- Deléage, J. P.I, 1993. *Historia de la Ecología*.— Icaria Editorial, Barcelona, 364 pp.
- Escarre Esteve, S. et al., 1997. *Ciencias de la Tierra y del medio ambiente*.— Santillana, Madrid, 383 pp.
- Flos, J., 1984. *Ecología, entre la magia y el tópico*.— Ediciones Omega, 120 pp.
- Gaston, K. J. & Spicer, J. I., 1998. *Biodiversity, an introduction*.— Blackwell Science Ltd, Oxford, 113 pp.
- Heinrich, D. & Hergt, M., 1997. *Atlas de ecología*.— Alianza Editorial, Madrid, 296 pp.
- Heyes, Cecilia & Huber, Ludwig (eds.), 2000. *The evolution of cognition*.— in: The Vienna Series in Theoretical Biology.— The Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, 386 pp.
- Hutchinson, G. E., 1978. *La Biosfera*.— pp. 195-203, cap. 22 in: Anónimo. *Ecología, evolución y biología de poblaciones*.— Ediciones Omega, Barcelona, 319 pp.
- Johnson, L. 1994. *The far-from-equilibrium ecological hinterlands*. pp. 51-103 in: Patten B.C & Jorgensen, S.E. (eds.). *Complex ecology: the part whole relationships in ecosystems*.— Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Leakey, R. & Lewin, R., 1997. *La sexta extinción. El futuro de la vida y de la humanidad*.— Tusquets Editores, Barcelona, 296 pp.
- Machado, A., 1999. *La vida en perspectiva*.— pp. 9-38 in *Ecología y Cultura de Canarias*. Museo de la Ciencia y el Cosmos, S/C de Tenerife, 202 pp.
- Margalef, R., 1980. *La Biosfera entre la termodinámica y el juego*.— Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 236 pp.
- Margalef, R., 1992. *Planeta azul, planeta verde*.— Prensa Científica, Barcelona, 265 pp.
- Margalef, R., 1997. *Our Biosphere*.— Ecology Institute, Oldendorf, 176 pp.
- Margulis, L., 1998. *The symbiotic planet. A new look at evolution*.— Weidenfeld & Nicolson, London, 146 pp.
- Margulis, L. & Olendzenski, L. (eds.), 1996. *Evolución ambiental. Efectos del origen y evolución de la vida sobre el planeta Tierra*.— Alianza, Madrid, 398 pp.
- Maturana, H. & Varela, F., 1996. *El árbol del conocimiento. Las bases biológicas del conocimiento humano*.— Editorial Debate, S.A., Madrid, 219 pp.
- Penrose, R., 1977. *The Large, the Small and the Human mind*.— Cambridge University Press, New York, 151 pp.
- Peñuelas, J., 1988. *De la biosfera a la antroposfera. Una introducción a la Ecología*.— Barcanova, Barcelona, 287 pp.
- Rodríguez, J., 1999. *Ecología*.— Ediciones Pirámide, Madrid, 411 pp.
- Sarmiento, G. 1984. *Los ecosistemas y la ecosfera*.— Edit. Blume, Barcelona. 268 pp.
- Van Andel, T. H., 1994. *New views on an old planet: a history of global change*.— Cambridge University Press, Cambridge, 439 pp.

- Valledor de Lozoya, A., 1999. *La especie suicida. El peligroso rumbo de la humanidad.*—Díaz de Santos, Madrid, 223 pp.
- Vernadsky, V. I., 1997. *La Biosfera.*—Fundación Argentaria, Madrid, 218 pp.
- Vernadsky, V. I., 1945. La biosfera y la noosfera.— *American Scientist*, 1 (traducción), pp. 205-218 en Vernadsky, V.I., «La Biosfera», 1997.- Madrid: Fundación Argentaria.
- Wilson, E. O., 1999. *Consilience. La unidad del conocimiento.*—Galaxia Gutenberg - Círculo de Lectores, Barcelona, 484 pp.