

La Revolución Verde en el Contexto de la Crisis Ambiental

Profesor: Luis Jair Gómez Giraldo MVZ, MSc
Académico Correspondiente
Academia Colombiana de Ciencias Veterinarias
Email jaigomez@une.net.co

Fecha de recepción: Marzo 6 de 2014. Fecha de aprobación: Mayo 4 de 2014

III. Biodiversidad, agrotóxicos y globalización

En la historia del desarrollo de la Técnica se han producido dos grandes fenómenos antropológicos: Inicialmente, muchos milenios atrás, se configuró el paso del prehomínido al homínido, lo que se constituyó, en adelante, en una forma de relación de dependencia del humano de la naturaleza. Hace apenas medio milenio, la técnica deja de ser esa forma de relación para convertirse en un vínculo de dominio de la naturaleza por el humano, lo que ha producido la crisis ambiental.

Resumen

La Revolución Verde disminuye al máximo la biodiversidad mediante la homogenización del genoma poblacional y el genoma individual de los seres vivos explotados en la agricultura. Este proceso disminuye la capacidad de ajuste al entorno y obliga entonces, a establecer ambientes controlados para lograr la expresión del mejoramiento genético.

Al entrar la agricultura a hacer parte de la industria, vía la agroindustria, entra también el sector agrario al proceso económico de la globalización,

lo que implica fuertes dependencias de nuestra economía de los países altamente industrializados.

Palabras claves: ambientes controlados, globalización, homogeneización.

Abstract

The green revolution decreases the maximum biodiversity through genome homogenization population and individual genome of living being exploited. This process decreases the ability of the organism to adjust to the environment and requires the establishment of controlled environment to achieve expression of genetic improvement.

Upon entering agriculture to the industry via agroindustry, agriculture also enters to the economic process of globalization, which implies strong dependencies of our economy, from highly industrialized countries.

Key Words: biodiversity, globalization, homogenization, dependencies

III. Biodiversidad y Revolución Verde

La biodiversidad es un tema tratado a la ligera dentro de círculos periodísticos o políticos, donde con frecuencia, no se le da la trascendencia que tiene para el desarrollo de la vida sobre el planeta. Lo que con mayor frecuencia suele ser objeto de alguna mención en estos medios es la tumba de bosques y las especies en peligro de extinción; sin embargo, a pesar de que no se le atribuye ninguna conexión, la revolución verde está muy fuertemente ligada, de manera negativa, con la biodiversidad, en razón de la disputa de los espacios y de la imposibilidad de mantenerla en las condiciones de las técnicas mecánico-industriales propias de ella y de la necesaria tendencia homogeneizante.

La biodiversidad es un fenómeno de la vida sobre la Tierra muy paradójico en lo atinente a su génesis, muy ligado a la existencia de los bosques en tierra firme y a los manglares y arrecifes en el espacio marino.

Los ecosistemas coralinos y, en especial, los arrecifes, conforman un

espacio marino de gran biodiversidad y son “quizá la mayor maravilla de la naturaleza viviente, a la cual sólo se compara la selva tropical”. (G. Márquez C., 1996)¹.

En cuanto al origen de la biodiversidad hay que señalar la paradoja de que la vida, en su heterogeneidad, en su diversidad, surge de una asombrosa homogeneidad química y metabólica de base. En efecto, el desarrollo individual del ser vivo y su identidad misma como sujeto o miembro de un grupo taxonómico reconocible, es posible merced a un conjunto molecular complejo denominado genoma, común a todos los seres vivos y, ahora se sabe, intercambiables, las moléculas individuales –genes-, entre todos los seres vivos, y conformadas, estas moléculas, por otras más pequeñas conocidas como nucleótidos, constituidos, a su vez, por una base (adenina, timina o uracilo, guanina y citosina), y un azúcar (D-ribosa para el grupo de los ribonucleicos – RNA-, y D-2-deoxiribosa

¹ G. Márquez C. 1996. Ecosistemas estratégicos (y otros estudios de ecología ambiental). Fondo FEN. Colombia. Bogotá. P. 82.

para el grupo de los desoxirribonucleicos –DNA-). La base de la conformación y funcionalidad de los seres vivos descansa, adicional a los nucleótidos responsables de la herencia, sobre otras tres sustancias: carbohidratos, lípidos y proteínas. Los dos primeros están compuestos por Carbono, Hidrógeno y Oxígeno, mientras que las proteínas tienen además Nitrógeno y, en algunos casos Azufre.

Los dos primeros carbohidratos y lípidos, son los responsables principales de proveer la energía funcional de la casi totalidad de todos los seres vivos. Es el momento para recordar que la energía endosomática, aquella que fluye desde los autótrofos a los heterótrofos, es la energía de enlace químico que se constituye a partir de la energía solar captada por los fotoautótrofos, que, mediante la clorofila, es utilizada para unir átomos, y en esa ligazón, transforman la energía radiante solar en energía de enlace químico, que de ahí en adelante fluye endosomáticamente por toda la red de la biosfera. Acá empieza a operar otra molécula universal a todos los seres vivos, otra homogeneidad de base en la operatividad de los seres vivos, es el trifosfato de adenosina –ATP-, que, al disociar el fosfato terminal y transformarse en difosfato de adenosina –ADP-, libera la energía de ese enlace fosfático, con la que el organismo va realizando todo su trabajo bioquímico de transformar compuestos orgánicos inespecíficos en sustancias específicas, es decir, para realizar todo su trabajo de autopoiesis, y además todo su operar como ser vivo.

Para la construcción de las proteínas específicas de cada ser vivo, se echa mano de un grupo, también universal de veinte aminoácidos, todos levógiros, que en diferentes proporciones y formas de unión química constituyen todas las proteínas necesarias tanto

para el orden arquitectónico como para el orden funcional, para emplear los términos de I. Prigogine -1993²-, de todos los seres vivos.

Pero a partir de esta asombrosa homogeneidad arquitectónica y funcional se despliega una diversidad formidable de seres vivos, en donde se percibe inequívocamente esa relación inevitable, entre seres vivos y ambiente. En esta perspectiva se despliega una «organización propagativa y diversificadora» según la propuesta explicatoria de S. Kauffman -2003³- que resuelve el problema de la captación de las fuentes de energía y materia, escogidas entre varias posibilidades, mediante el despliegue de una organización expansiva y heterogeneizante que hace posible la realización de los procesos necesarios para mantener el orden por fluctuaciones mediante estructuras disipativas. Su modo de expresarlo es supremamente ilustrativo: “Existe un conjunto de especies moleculares en nuestra biosfera actual. Y hay un conjunto futuro de especies moleculares que todavía no existen, pero que se encuentran a un solo paso de reacción desde las actuales, en lo adyacente posible para nuestra biosfera. Hace cuatro mil millones de años, la diversidad química de ésta era presumiblemente muy baja, con tan sólo algunos cientos de especies moleculares orgánicas. Hoy la habitan billones de tales especies. La luz del sol, unida a un frenesí de interacciones entre miríadas de seres, ha impulsado esa diversidad molecular hacia lo adyacente posible. -Y concluye-: la diversidad de las especies ha seguido el mismo camino”⁴.

2 I. Prigogine. 1993. La termodinámica de la vida. En “¿Tan sólo una ilusión? (Una exploración del caos al orden). Trad. Por F. Martín. Tusquets editores. Barcelona. P. 311.

3 S. Kauffman. 2003. Investigaciones. Trad. Por L. E. de Juan. Tusquets editores. Barcelona. P. 122.

4 Idem, p. 79.

En el caso de la captación de energía para la biosfera se está haciendo referencia fundamental a la radiación solar que llega a la Tierra desde el Sol. En éste como en cualquier otro caso, si bien el fenómeno biológico es distinguible por una mayor complejidad que el físico o el químico, de ninguna manera significa que escape a las leyes que rigen a estos. También las tres leyes generales de la termodinámica evolutiva se cumplen en los procesos biológicos, pero aparecen algunos elementos diferenciadores que deben ser considerados y que empezaron a ser introducidos desde la célebre conferencia de Erwin Schrödinger en Dublín, en 1943, publicada un año después con el título muy reconocido de “¿Qué es la vida?”⁵, texto mediante el cual se aproxima la termodinámica física a la complejidad biológica.

En lo atinente a la primera ley, conocida como la ley de la conservación de la energía, se entiende que en 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 de su energía interna $-\Delta U-$, 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 formas principales en que se transfiere la energía del entorno al sistema o viceversa, dependerán fundamentalmente de la cantidad y eficiencia del trabajo realizado por el sistema.

Si se está planteando esta ley para el caso de la biosfera, esto es, de los seres vivos, las referencias son las siguientes: la energía calórica $-Q-$, es la radiación fotónica del Sol; el sistema que la incorpora, es el conjunto de los seres vivos fotoautótrofos, es decir, los vegetales y microorganismos en los que se cumple la fotosíntesis, la cual es el trabajo $-W-$ realizado. Conviene anotar que esa energía calórica solar no llega íntegramente sobre las superficies foliares de las plantas y sobre los receptores fotónicos de los microorganismos sensibles a ella, sino además sobre las nubes y el viento que absorben en parte y reflejan en parte. Esta radiación solar da cuenta entonces, del movimiento del viento y del ciclo del agua (hielo sólido, agua líquida y vapor de agua, además de corrientes marinas) a partir de la creación de un gradiente de temperatura que se expresa mediante esas dinámicas.

Es importante tener en cuenta que la energía radiante que nos llega del Sol, no es homogénea, sino que constituye un espectro cambiante de acuerdo a las longitudes de onda que está determinada por su concentración fotónica, que en forma muy sumaria podría segmentarse en el espectro ultravioleta, el de mayor concentración fotónica y mayor capacidad destructiva de la materia viva (rayos X, rayos gamma, rayos beta, etc.) y que comprende el 9 % de la energía solar total, con longitudes inferiores a los 360 nanómetros ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$); luego, entre 360 y 760 nm, que se corresponde con la que se denomina radiación luminosa, en tanto es la parte visible al ojo humano., y que corresponde al 42 % de la energía total; el restante 49 % corresponde a la franja del infrarrojo que genera aumentos de temperatura.

En la zona entre 360 y 760 nm, se sitúan las longitudes de onda del es-

5 E. Schrödinger. 1986. ¿Qué es la vida? (El aspecto físico de la célula viva). Trad. Por R. Guerrero. Ediciones Orbis. Barcelona.

pectro luminoso que va en un continuum, desde el color violeta al color rojo, y que es la porción captada por los fotoautótrofos para el trabajo de fotosíntesis que transforma energía solar exosomática a energía de enlace químico endosomática.

La característica de la «autonomía» de los seres vivos, que J. Wagensberg -1998⁶- prefiere denominar independencia, entendida como la condición propia del ser vivo de tender a mantenerse igual a sí mismo a pesar de las eventuales variaciones ambientales. “Un ser vivo –dice- es un rincón del universo empeñado en distinguirse de sus alrededores..., independencia respecto del *tiempo* transcurrido (mantener una estructura) e independencia respecto del *espacio* circundante (mantenerla a pesar de los caprichos de éste)”. Esta característica así definida tiene dos implicaciones muy importantes. De un lado esa independencia del *tiempo* y del *espacio*, supone la capacidad auto organizativa interior que H. Maturana -1997⁷- ha denominado «autopoiesis» y que define como “un sistema de procesos de producción de componentes concatenados de tal manera que producen componentes que: i) generan los procesos (relaciones) de producción que los producen a través de sus continuas interacciones y transformaciones, y ii) constituyen a la máquina (viviente) como una unidad en el espacio físico”. La segunda implicación se deriva de la primera y se refiere a que esa autonomía, no significa un aislamiento del sistema, sino que el ser

vivo es termodinámicamente abierto, lo cual le garantiza poder vivir, es decir, ejercer su autopoiesis, para lo cual requiere incorporar energía y materia de baja entropía, energía solar en este caso, y desincorporar energía y materia de alta entropía.

Para el caso de la energía, E. D. Schneider y J. J. Kay, 1999⁸, han propuesto una importante teoría partiendo, por supuesto, de la segunda ley de la termodinámica *no lineal*, dado que, cuando se habla de la biosfera, se hace referencia a un sistema “cuasiestable a cierta distancia del equilibrio”. Señalan entonces que en el caso de los sistemas organizados vivos “esta organización se mantiene al precio de un incremento de la entropía del sistema «global» en el que está inmersa la estructura. En estos sistemas disipativos el cambio de entropía total es la suma de la producción interna de entropía (que siempre es positiva o nula) más el intercambio de entropía con el entorno, que puede ser positivo, negativo o cero”. En efecto, los seres vivos en su autopoiesis producen alta entropía la cual necesitan disipar para mantener su organización operativa y, a su turno, incorporar energía de baja entropía para garantizar su dinámica vital. Este caso es aplicable, de igual manera, a la materia, ya que el ser vivo debe conservar su «orden arquitectónico» (molecular) y su «orden funcional», es decir, metabólico. Los seres vivos entonces, mediante su metabolismo, (su autopoiesis) generan productos de reacción (desechos) que son expulsados al exterior, y deben entonces incorporar, desde el exterior, fuentes energéticas y materiales que le permitan mantener su cuasi estabilidad.

6 J. Wagensberg. 1998. El progreso, ¿un concepto acabado o emergente? En “El progreso, ¿un concepto acabado o emergente?”. Editado por J. Agusti y J. Wagensberg. Tusquets editores. Barcelona. P. 21.

7 H. Maturana y F. Varela. 1997. De máquina y seres vivos (Autopoiesis: la organización de lo vivo). Editorial Universitaria. Santiago de Chile. P. 69.

8 E. D. Schneider y J. J. Kay. 1999. Orden a partir del desorden: la termodinámica de la complejidad en biología. En “La biología del futuro”. Trad. Por A. García L. Tusquets editores. Barcelona. Pp. 225 y ss.

Para este caso de sistemas fuera del equilibrio Schneider y Kay⁹ han propuesto la segunda ley reformulada como mecanismo que les mantiene esa inestabilidad propia de su complejidad: “si un sistema es desplazado de su equilibrio, utilizará todas las vías disponibles para contrarrestar los gradientes aplicados. Conforme se incrementan esos gradientes, se incrementa también la capacidad del sistema para oponerse a un alejamiento ulterior del equilibrio”. Y agregan más adelante: “cuanto más se desplaza un sistema del equilibrio, más sofisticados son sus mecanismos para resistir un desplazamiento ulterior. Si las condiciones dinámicas y/o cinéticas lo permiten, surgirán procesos de autoorganización que contribuyen a la disipación de gradientes”. Está ahí explicado, desde la termodinámica y en el contexto de la complejidad biológica, los mecanismos de adaptación que dan lugar a la extraordinaria biodiversidad propia del trópico.

Es esa organización expansiva y heterogenizante la que se constituye en una manera de captación de la radiación solar, por la que los bosques incorporan la energía de baja entropía a

la red de la vida, pero también contribuyen al mantenimiento de un sistema mayor, el planetario, con las condiciones adecuadas para la persistencia de la biosfera toda, en el tiempo.

Como se señalaba anteriormente, la energía calórica del Sol genera un gradiente de temperatura con la superficie fría de la Tierra, que si no es disminuido por el trabajo de la fotosíntesis, aparecería como un medio ambiente con las características de los grandes desiertos. Es la presencia de los fotoautótrofos la que regula la termodinámica del Planeta y, por ende, la interacción de ellos con el Planeta hace a éste un espacio de vida y, en alguna medida, un cuerpo viviente que J. Lovelock ha llamado Gaia.

Se está entonces, en el caso de la biosfera, frente a dos fenómenos de la mayor importancia: de un lado, la vida regula las características de la Tierra, para hacerla vivible, y del otro, la fotosíntesis hace posible que se incorpore la energía necesaria para que la biosfera opere, y, en este operar hay que incorporar también la captación de materia para que se cumpla el bucle recursivo de la vida:

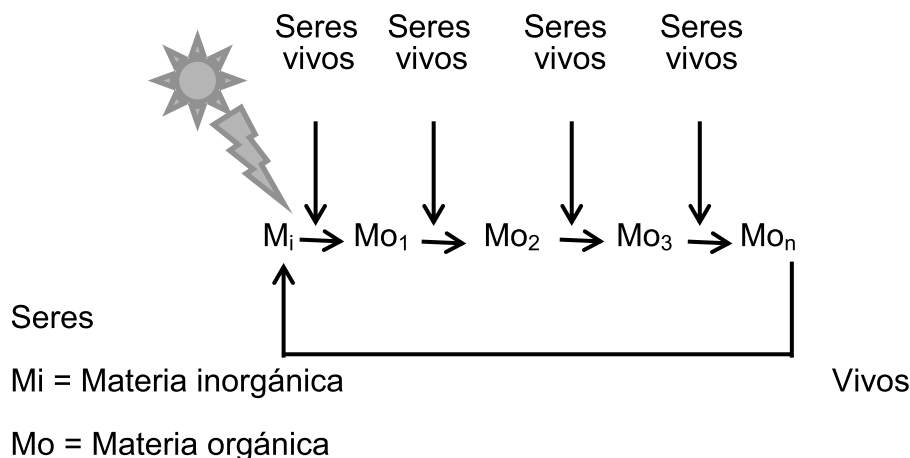


Gráfico N° 6. Bucle recursivo de la vida

9 Opus cit.

Cuando se observa la forma en que está distribuida la vida sobre la Tierra, se percibe fácilmente la asombrosa biodiversidad, que podemos explicar a partir de toda la exposición anterior. Obsérvese cómo, desde el trópico, la biodiversidad se va haciendo mucho menor sobre tierra firme a medida que se avanza hacia los polos donde son poquísimas las especies foto autótrofas y abundante la materia orgánica en descomposición en el suelo -tundra-, dada la lentitud del ciclo vital; y en el mundo marino, en esas mismas zonas polares, las poblaciones animales no son muy numerosas en cuanto al número de individuos, y las aves y mamíferos son escasos pero de gran tamaño. De otro lado, los insectos, arácnidos, lepidópteros, escarabajos y demás animales pequeños empiezan a aparecer y a hacerse numerosos y muy variados a medida que nos alejamos desde los espacios polares hacia la zona intertropical, donde el número y la biodiversidad se hacen incontables. Se explica así un fenómeno muy interesante, el reciclaje de la materia a través de la red de la vida es mucho más rápido en la franja tropical que en las zonas estacionales y, por supuesto, en espacios cercanos a las zonas polares es aún mucho más lento.

Es muy ilustrativa la expresión de A. de Humboldt, cuando en el recorrido por las “Regiones Equinociales del Nuevo Continente” realizado entre 1799 y 1804, se asombra y realza la exuberancia e inhospitalidad de la selva tropical donde no parece posible explicarse esa lucha que por los mínimos espacios disponibles dan la indescriptible variedad de vegetales y pequeños animales existentes en ella, y donde entraña extrema dificultad hacer “desaparecer selvas por medio del fuego y del hacha, cuando los troncos de los árboles tienen de ocho a dieciséis pies de diámetro, cuando,

al caer, se apoyan los unos contra los otros y su madera humedecida por las continuas lluvias es de una duración excesiva”¹⁰.

Más adelante agrega: “sin duda que, en la América española, la tierra más fecunda produce, sobre la misma superficie, una masa mayor de sustancias nutritivas; sin duda que, sobre las mesetas de la región equinoccial, el trigo da 20 a 24 granos por uno, pero cordilleras surcadas por grietas casi inaccesibles, estepas desnudas y áridas, selvas que resisten al hacha y al fuego, y una atmósfera llena de insectos venenosos opondrán por largo tiempo poderosas trabas a la agricultura y a la industria”¹¹.

Con el avance del conocimiento y la incorporación de la sistémica en la epistemología de la bioecología H. T. Odum -1980¹²-, explica esta delicadísima dinámica del bucle recursivo en las condiciones de la pluviselva establecida a lo largo del tiempo sin intervenciones del hombre. La fotosíntesis de las plantas se divide entre muchas especies distintas -dice el autor-, que tienen todas una función fotosintética similar, pero que se distinguen por agentes químicos aislantes especiales. El ciclo para descartar las hojas viejas y reciclar lo minerales que ellas contienen, lo regulan los hongos y bacterias, que tienen una especificidad suficiente referida a los agentes químicos aislantes. Las diferentes formas en que se expanden y distribuyen las raíces y los microorganismos a nivel del suelo organizan ciclos minerales en bucles

10 A. de Humboldt. 1991. Viaje a las regiones equinociales del nuevo continente. Trad por. J. NucetaSardi y L. Alvarado. Monte Ávila editores. Caracas. T. 5, p. 46.

11 Idem, p. 89.

12 H. T. Odum. 1980. Ambiente, energía y sociedad. Trad. Por Diorki. Editorial Blume. Barcelona. P. 115 y ss.

cerrados que son mutuamente auto estimulantes. Bajo estas circunstancias, tanto los organismos productores, como los descomponedores están regulados por consumidores especializados. Así, los insectos consumidores de hojas están químicamente especializados para tratar las plantas, pero ajustados en su actuación para no tomar más del 7 %, aproximadamente, de la materia de las hojas, siempre y cuando cada especie vegetal esté dispersada de un modo conveniente. En forma análoga, muchísimas especies de pequeñas moscas fungivoras y otros consumidores pequeños, regulan en estos ciclos, la proliferación de los microorganismos. De esta manera si una especie cualquiera de plantas empieza a acelerar su crecimiento relativo, dada la disponibilidad de la materia orgánica inespecífica y llega a ser dominante, será contraatacada por las acciones aceleradas de los consumidores cuyo pequeño tamaño les da un corto tiempo de respuesta. Así, la diversidad y un sistema de control-equilibrio evita epidemias y mantiene la meta estabilidad. Los consumidores de un más alto nivel como los saurios y las ranas, los microorganismos del nivel secundario y los comedores de detritus, como las lombrices de tierra, no necesitan tanta especialización química, ya que no comen los organismos que tienen aislantes químicos especiales. Se alimentan, por el contrario, de pequeños insectos que, aunque tienen funciones específicas, están menos especializados en su propia configuración química. La especialización de los organismos superiores permite la existencia de pautas complejas de control del sistema, como el control de la polinización y de la caída y dispersión de las semillas. En el tiempo, esta convergencia lleva a que las grandes aves, los mamíferos, incluyendo al hombre cazador-recolector, proporcionan una diversidad

nutritiva y un flujo estable pero pequeño, ya que ninguna cadena se puede aumentar sin que ocurra el sistema de control correspondiente. Así pues, las energías de la fotosíntesis, energías endosomáticas, fluyen entre cientos de circuitos formados por especies diferentes y a procesos de trabajo especializado, mediante los cuales se satisfacen las necesidades globales del sistema, ciclos de minerales, estabilización de las epidemias, organización estructural, utilización eficaz de la luz y mantenimiento de la estructura del suelo.

R. Margalef, 1992¹³, por su parte recoge, en una apretada síntesis, esta maravillosa dinámica de la selva tropical, al decir que: “a diferencia de lo que ocurre en otras formaciones vegetales, donde una parte considerable del alimento mineral disponible se halla en el suelo, en la selva tropical húmeda está prácticamente todo él retenido en la biomasa, y la pequeña parte que pasa al medio se recupera casi instantáneamente”.

Es, precisamente, esta característica de la selva tropical, la que explica la validez de la segunda ley de la termodinámica reformulada por Schneider y Kay, en donde, frente a una cantidad tan sobresaliente de energía solar que cae sobre la zona intertropical –entre $\frac{2}{3}$ y $\frac{5}{6}$ del total- que crea un gradiente considerable con la fría superficie terrestre, el sistema, para no salir del «metaequilibrio», despliega unos procesos de autoorganización que disminuyan el gradiente para mantener el «equilibrio por fluctuaciones», y es en ese punto donde la biodiversidad juega su papel. Se trata de una biodiversidad foliar, raizal, de ramas y de tallos, que le permite a los fotoautótrofos captar

13 R. Margaleff. 1992. Ecología. Editorial Planeta. P. 218.

la mayor cantidad posible de esa energía calórica y desplazarla, en proporción a la cantidad de tejido foliar, hacia el trabajo de fotosíntesis, ya sea a partir del despliegue de tejidos foliares de todas las formas y matices de colores, principalmente de verde, capaces de incorporar tanto la energía directa como la indirecta. Ese mismo despliegue foliar opera también, en la captación y redistribución de agua lluvia, que al caer copiosa y torrencialmente sobre el dosel del bosque y las copas de los árboles, se esparce y ralentiza, para completar los elementos necesarios, que con el CO₂ del aire, permiten construir la materia orgánica e iniciar entonces el bucle recursivo de esa materia a través de Móneras, Protoctistas, Hongos, Animales y Vegetales, que, con la disponibilidad, dentro de esa misma materia orgánica de energía endosomática permanente y abundante, pueden mantener esa termodinámica no lineal del Planeta en general y de la Biosfera en particular.

Pero este mundo primario es intervenido por el hombre para dar forma a tres expresiones civilizatorias: la agricultura, la industria y la urbanización. De éstas, las dos últimas, íntimamente relacionadas, son las más devastadoras de la biodiversidad; pero la agricultura también actúa de la misma manera una vez toma la forma de «revolución verde» e incorpora los procesos industriales a su dinámica. Al tomar la forma de agroindustria incorpora una gran cantidad de energía exosomática, que con el argumento de la explosión demográfica y la eficacia productiva, se difunde en el mundo bajo la consideración, políticamente muy convincente, de la «seguridad alimentaria», pero socialmente muy negativa en cuanto opera en contra de la «autonomía alimentaria». Esta forma política de afrontar el problema con profundas consecuencias de dependencia econó-

mica, arrastra tras de sí un profundo daño a la biodiversidad en cuatro espacios.

En primer lugar, unas poquísimas especies –las cultivadas– sustituyen una buena cantidad de especies silvestres; en segundo lugar, hay una fuerte intervención sobre la heterogeneidad natural del genoma poblacional de las especies cultivadas, en razón del proceso de homogeneización genómica que supone el mejoramiento genético, y más aún, la transgénesis. Con este proceso de intervención sobre el genoma poblacional de las especies de interés económico en alimentación o industria, se viene produciendo una peligrosa «erosión genética», es decir, pérdida de genomas y genes, que son ya una profunda amenaza a la seguridad alimentaria mundial. Erosión, que a su vez, ha provocado problemas como el de la “vaca loca”, rebrotes de aftosa, etc. Esta erosión genética tiene un causante adicional cuando se mira desde la perspectiva de la «Epigenética», y no desde el modelo Mendeliano-Weismanniano que se funda en la tradición filosófica occidental del dualismo cartesiano, que en el caso que nos ocupa se corresponde con la idea de Weismann de un «genoma» y un «soma» completamente separados, en donde la información va del primero al segundo sin que sea posible lo inverso.

En el caso de la visión epigenética, palabra que nace con Waddington, 1976¹⁴: “Hace algunos años (hacia 1947) introduje la palabra «epigenética», derivada del término aristotélico «epigénesis», y que ha caído más o menos en desuso, como un nombre

14 C. H. Waddington. 1976. Las ideas básicas de la biología. En “Hacia una biología teórica”. Editado por C. H. Waddington y otros. Trad. Por M. Franco R. Alianza Editorial. Madrid. P. 27.

adecuado para la rama de la biología que estudia las interacciones causales entre los genes y sus productos, interacciones que dan el ser al fenotipo". Más adelante, este biólogo inglés, establece el significado preciso del término: "El paradigma completo debe incluir, por tanto, los siguientes puntos: un sistema genético cuyos componentes Q no sean mera información, sino algoritmos o programas capaces de producir fenotipos Q. Un mecanismo para producir una variedad indefinida de nuevos Q", algunos de los cuales han de actuar de un modo radical que pueda ser descrito como «reescribir el programa». Debe existir también un número indefinido de medios ambientales, lo cual está asegurado por el hecho de que los fenotipos en evolución son componentes de medios ambientales para sus propias o para otras especies. Por otra parte, cuando menos algunas de las especies del biosistema en evolución, deben poseer mecanismos de dispersión, activa o pasiva, que les llevarán a entrar en contacto con los nuevos medios (bajo estas circunstancias, para otras especies, es el medio ambiente el que viene a ellas). Estos medios no sólo ejercerían presiones selectivas sobre los fenotipos, sino que actuarían además como apartados en los programas, modificando los procesos epigenéticos mediante los cuales los Q llegan a transformarse en los Q"¹⁵. G. Nicolosi y G. Ruivenkamp-2012¹⁶- hacen una descripción un poco diferente, pero conservando el concepto maestro de Waddington y señalan que el genoma está enclavado en el organismo (soma) y es además una entidad plástica. Esto implica pasar de "la idea de un genoma aislado a

la idea de su relación con el organismo vivo (primer paso); desde el organismo vivo a la interrelación de este último con el medioambiente (segundo paso). Lo que es crucial aquí es que este flujo no es unidireccional sino circular".

En el aspecto agro-biotecnológico, estos autores señalan que de acuerdo con su visión epigenética, "el modelo de «mejoramiento social», basado en la imposición de semillas 'abstractas', creadas en el laboratorio por trabajo de alta tecnología de investigación financiada por grandes corporaciones –tal como ha sido el caso de la revolución verde- separadas del ambiente en el cual crecen las semillas, ha conducido a fallas agronómicas y a dramáticas inequidades sociales, Hoy día, estamos asistiendo, con algunas importantes estrategias participativas que conduzcan a tener en cuenta el ecologismo de base que involucre a granjeros locales reestructurados junto con científicos y técnicos, para seleccionar semillas valiéndose del conocimiento tradicional y los desarrollos técnicos en el ambiente natural local. Lo que se asume en general, es, de nuevo, que podemos mejorar la selección de semillas y las relaciones socioeconómicas mediante la interacción con el ambiente natural/social local".

En tercer término, la siembra a gran escala en forma de monocultivos, desplaza aún más todas las diversas especies que podrían mantenerse sobre el mismo espacio, ya sea de características silvestres o en agricultura de policultivo y rotación. El cuarto aspecto, de no menor importancia, hace relación a que el monocultivo necesariamente fomenta la aparición de especies particulares – insectos, arácnidos, hongos, protoctistas, etc.- compatibles con la especie original explotada y, en consecuencia desplaza a otras especies o variedades.

15 C. H. Waddington. 1976. Paradigma para un proceso evolutivo. En "Hacia una...". P.345.

16 G. Nicolosi and G. Ruivenkamp. 2012. The epigenetic turn. Med. Health Care and philos. 15: 309-319.

No puede negarse que la necesidad de sostener una desproporción mayor entre consumidores productores y consumidores no-productores, en favor de los segundos, en razón del rápido desarrollo urbano de los últimos cincuenta años, reclama una mayor producción de alimentos, pero si la vía es la aplicación masiva de las técnicas de revolución verde, las consecuencias ambientales son muy grandes e imposibles de ignorar. Es en este punto cuando tiene sentido la aplicación de técnicas agroecológicas.

Sin lugar a dudas, desde antes del Informe Brundtland de 1987, la FAO ha sido una promotora, con unos muy pocos llamados de atención sobre algunos aspectos menores, de la revolución verde. Conviene anotar que en la Primera Conferencia Mundial sobre El Hombre y el Medioambiente (Estocolmo'72), no se planteó nada específico sobre esta problemática, pero en la cumbre mundial de la FAO sobre la alimentación de 1996, se dice: "en los tres últimos decenios, la productividad de los principales cereales (arroz, trigo y maíz) ha aumentado como resultado de la incorporación de los progresos científicos a la fitogenética, junto con tecnologías que han permitido aprovechar al máximo, el rendimiento potencial de los cultivos, en las condiciones a que están sometidos los agricultores en los países en desarrollo. Estos aumentos son lo que se conoce como revolución verde"¹⁷. No hay dudas de que el optimismo de la FAO es bastante grande, por el contrario el Club de Roma ha tenido siempre reservas al respecto. En su Tercer Informe, "Reestructuración del Orden Internacional", coordinado por J. Tinbergen, premio Nobel de Economía de 1969,

se señala explícitamente que: "la experiencia de la 'revolución verde' es suficientemente instructiva para ameritar un examen especial. Casi no hay duda de que el impulso inicial de la 'revolución verde', se ha esfumado porque, en primer lugar no tuvo una base de investigación tan amplia como era de desear. En segundo lugar, aunque es básicamente neutral en cuanto a la escala, las condiciones previas son las del agua y el crédito de seguros, que, en general, se distribuyen en forma muy desigual entre las regiones y entre diversos segmentos de la población rural"¹⁸. Sin embargo, más adelante no es tan reservado y francamente indica que "también debe concederse atención considerable a los factores técnicos involucrados en la producción de alimentos. Con frecuencia se subestima grandemente, la importancia de estos factores... Se requieren tecnologías nuevas, en particular en materia de riego y drenaje, incluida la purificación y desalación del agua, que por ahora tiende a ser demasiado cara e intensiva en energía.... Debe mencionarse también la necesidad de desarrollar otros métodos de cultivo menos destructores del suelo, una consideración particularmente importante en las regiones subtropicales y tropicales"¹⁹.

Este punto de efectos negativos sobre el suelo es de gran relevancia, pero los datos, no muy escasos en realidad, son muy diversos. Alrededor del año 2000 se consideraba, por varias agencias internacionales que cerca del 35% del suelo del Planeta, al margen de los desiertos naturales, ya estaba degradado, y que además lo que estaba pasando era una expansión de los grandes

17 FAO. 1996. Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde. En "Cumbre mundial sobre la alimentación". Pp 1 y 2.

18 J. Tinbergen. 1977. (Coordinador). Reestructuración del Orden Internacional. (Informe al Club de Roma). Trad. Por E. L. Suárez. Fondo de Cultura Económica. México. P. 355.

19 Idem, p. 356.

desiertos en sus bordes, y se calculaba que el proceso de desertización era de unos 6 millones de has/año. Parte de ese proceso de degradación se inicia con la tumba del bosque, y que en el caso de trópico se estima que ya se ha perdido un 55 % de esa selva tropical que nos describía Humboldt. Hacia fines de los 70's se calculaba que la cubierta boscosa de la selva húmeda tropical venía perdiendo 75.000 km²/año, de acuerdo al reporte de la FAO²⁰. Para 1990 N. Myers -1996²¹- encuentra que la deforestación en esa selva tropical, ha sido de 138.600 km², lo que da por resultado en el decenio del 80 al 90, 67.200 km²/año, es decir casi un 90 % de aumento. Individualmente el mayor agente deforestador, es, según este autor, el cultivador 'nómada', que son agricultores tradicionales arrojados de sus tierras de cultivo, quienes se desplazan a la selva a derribar bosque. En Colombia se reconoce también al colonizador de oficio, que tumba el bosque, aprovecha comercialmente la madera, siembra pasto y vende los potreros a ganaderos de frontera boscosa. Para 1978 se estimaba en 550 millones de hectáreas, la superficie total del bosque cerrado en América Latina, lo cual equivalía al 20 % del total mundial, pero ya para el año 2000 –dos decenios después- esa superficie se había contraído a 329 hectáreas, equivalente a un 15% del total mundial. Esto significa que mientras en América Latina, donde se encuentra la Amazonía, el bosque húmedo tropical más extenso del mundo, se derribó casi el 40 % del bosque total en 22 años, en todo el Planeta sólo se perdió el 5 %, lo que da cuenta de la gravedad de la situación en esta parte del Planeta; situación

además, que no es sólo de efectos locales, sino también planetarios.

Históricamente, considerando a un espacio mayor que América Latina y un tiempo de más alcance que dos o tres decenios y con el desbordado aumento poblacional de los últimos tres siglos, se ha presentado también una impresionante destrucción de bosques. A. Kostler -1978²²- cuenta cómo, durante el siglo XIX, desapareció el bosque de los cedros del Líbano, diezmado para alimentar las locomotoras del tren que comunicaba a Estambul con el Cairo. Precisamente en el norte del África, se derribaron 2,5 millones de hectáreas de bosque entre 1830 y 1973; y, en una acción mucho más demoledora, entre 1895 y 1961 (65 años), se derriba el 93 % de los 20 millones de hectáreas del bosque de Madagascar.

Además de la gran pérdida de biodiversidad vegetal que se da con la tumba de la selva, para incorporarla a la agricultura o al desarrollo urbano-industrial, la pérdida de especies animales y de hongos es de gran relevancia. La Fundación Rockefeller, en un informe de 1998, indicaba que cada año desaparecen unas 27.000 especies entre plantas y animales; y agregaba al respecto que se estima que en el mundo hay unas 250.000 especies vegetales y la mitad de éstas se encuentran en los bosques tropicales, lo que en mi entender es una subestimación tanto del total como de la parte atribuida al trópico. Pero más allá de la inseguridad de estos datos, vale la pena acoger la idea general del daño que se infringe a la biosfera con el derribamiento de los bosques, estén donde estén.

Cuando nos situamos ya en la revolución verde en acción, hay que tener

20 FAO. 1981. Tropical forest resources. Roma.

21 N. Myers. 1996. Selvas tropicales. En "El calentamiento del Planeta: Informe de Greenpeace". Trad. Por I. Vericat. Fondo de Cultura Económica. México. P.p. 393- 423.

22 A. Kostler. 1978. Proteger el medio ambiente. En "Del temor a la Esperanza". UNESCO.

en cuenta el fenómeno de la erosión generada por el uso intensivo del suelo y la alta mecanización del mismo. G. Tyler Miller -1994²³- escribe que “en la actualidad, el suelo superficial se está erosionando con mayor rapidez de la que se forma, en cerca de la tercera parte de las tierras cultivadas del mundo”.

IV. Agrotóxicos y revolución verde

En la delicada dinámica descrita por Odum que se ha transcrito en el aparte anterior, queda claro cómo opera el Bucle Recursivo de la Vida, no sólo en una pluviselva que es particularmente compleja, dada la extraordinaria biodiversidad que compone la red ecológica, sino también a niveles de mucho menos biodiversidad propia de las zonas que se van alejando del cinturón tropical hacia el norte y hacia el sur. Una de las consideraciones fundamentales que se ponen de presente en ese maravilloso proceso es la de que la biodiversidad es fruto de un desarrollo evolutivo en el que los seres vivos, en su relación con la naturaleza han ido transformándose para tener acceso a la materia necesaria para su autopoiesis, al uso de la energía solar, hidrotérmica o de enlace químico orgánico disponible en ese mismo entorno, pero a condición de que disponga de la «maquinaria química» que le permita incorporarlos en sus sucesiones metabólicas. Esto significa que estos procesos no son estocásticos y tienden al desorden (entropía), sino que están inscritos en una organización y, por lo tanto, operan con una cierta regularidad, que responde a la composición de la red biológica y al entorno físico-químico en el cual está inscrita dicha red, lo cual le permite expulsar

alta entropía e incorporar baja entropía para mantener niveles neguentrópicos adecuados.

Siendo así, cuando entra una nueva especie viva, una materia orgánica o inorgánica, u ocurre algún fenómeno físico (temperatura, pH, corriente hídricas, etc.) que no hacen parte de la dinámica regular, el sistema puede incorporarlos mediante ajustes estructurales que no distorsionen su organización, o puede alterarse su dinámica, en forma tal que se resienta su organización básica hasta llevarla al colapso en tanto se sobrepasen las posibilidades de su resiliencia.

Además de esos grandes eventos físico-químicos de regular ocurrencia sobre el planeta, tales como las erupciones volcánicas, las tormentas atmosféricas, los terremotos y otros más, de origen en las dinámicas inherentes a la evolución de la materia, el hombre ha venido introduciendo distorsionadores del biociclo que, generalmente, causan trastornos a pequeña, mediana o gran escala, pero que pueden, en su sumatoria, constituirse en fuente de riesgos ecológicos importantes.

Desde antes de la revolución verde, particularmente, desde el caso de la Cicuta de Sócrates en el 399 a.C., y aún antes, la humanidad ha recurrido al uso de distintos tóxicos, ya sea para aplicar justicia institucional o particular, o para intensas luchas palaciegas o de poder. De la misma manera ha utilizado distintas sustancias inorgánicas (por ej., metales pesados) u orgánicas, para el control de plagas en el entorno inmediato al ser humano, o en la producción agrícola. En esta lista puede colocarse el azufre, el arsénico, el mercurio, la nicotina, la rotenona, el piretro, el plomo, etc., todos de uso común durante varios siglos y aún en la actualidad.

23 G. Tyler Miller. 1994. Ecología y Medio Ambiente. Trad. Por I. de León R. y V. González V. Grupo Editorial Iberoamérica. México. P. 347.

Pero el arsenal se ha multiplicado recientemente, principalmente por dos acontecimientos inconexos aunque contemporáneos. En primer lugar, la revolución verde que exigió un intenso control de plagas, y en segundo lugar la guerra de Vietnam, que utilizó, desde el lado de los agresores, la defoliación de la selva tropical.

R. Carson -1980²⁴- llamó la atención sobre la presencia del DDT (Diclorodifeniltricloroetano) en los osos polares y en los esquimales, originados a partir de su uso en las zonas agrícolas de Iowa, pero además señaló, con gran interés, el aumento desbordado de los insecticidas, -que ella insiste en que se les llame «biocidas» en tanto carecen de especificidad-, al pasar de una producción, en 1947, de 124'259.000 libras, a 637'666.000 en 1960, lo que equivale aun 413 % de incremento. Tyler Miller -1994²⁵- anota que en Estados Unidos se triplicó el uso entre 1964 y 1981, y que entre 1985 y 2000, se cuadruplicó su aplicación en los países en desarrollo. Esto explica que el nivel de demanda haga de estos productos un negocio muy lucrativo y que tenga entonces, grandes defensores y promotores de su utilización; pero que además se haya concentrado su producción en unas pocas transnacionales a tal punto que se sabe que entre 6 a 8 empresas producen la casi totalidad de los pesticidas del mercado. Es así como este autor cuantifica en 5.000 millones de dólares las ventas anuales de plaguicidas en Estados Unidos.

Este fuerte incremento de la utilización de pesticidas explica por qué en 1988, la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA) en un trabajo incompleto, pero muy re-

velador, detectó 46 pesticidas en aguas subterráneas de 26 Estados, que podrían atribuirse a aplicaciones agrícolas normales. También en los alimentos se han encontrado agrotóxicos, lo que es muy grave para la salud humana, puesto que el 50 % de los herbicidas, el 90 % de los funguicidas y el 30 % de los insecticidas, han mostrado efectos cancerígenos en animales de laboratorio. Hay algo más, un agrónomo de Iowa, A. Blackmer en cuidadosas observaciones sobre el suelo del «cinturón del millo», sostiene que probablemente, más de la mitad del nitrógeno vertido en el suelo agrícola, no es absorbido por los cultivos, de tal manera que contamina las aguas y que además, lo mismo parece suceder con el fósforo, generando así los conocidos problemas de eutrofización de los lagos.

En una interesante investigación realizada por G. E. Séralini *et al.*, 2012²⁶ en ratas, durante dos años, se muestra que los datos bioquímicos confirman una deficiencia renal crónica, estadísticamente muy significativa, a tal punto que el 76 % de los parámetros alterados estaban relacionados con el riñón; daños estos producidos por las alteraciones endocrinas provocadas por el Roundup, y además por la sobre exposición del transgene en GMO's y sus consecuencias metabólicas. También hubo formación de tumoraciones que no fueron regresivas en el 95 % de los casos y no hubo nódulos infectados. En las hembras los tumores fueron 5 veces más grandes que en machos y el 93 % de ellos fueron mamarios, seguidos por los de localización en la pituitaria, pero se vieron también en la piel y el riñón. En conclusión, los

24 Opus cit.

25 Opus cit., p. 701.

26 G. E Séralini, E. Clair, R. Mesnage, S. Gress, N. Defarge, M. Malatesta, D. Hennequin, J. Spiroux de Vendômois. 2012. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. Food chem. Toxicol (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/i.fct.2012.08.005>

resultados del estudio muestran claramente que la formulación en niveles bajos de herbicidas agrícolas de glifosato a concentraciones muy por debajo de los límites considerados seguros, inducen a severas disfunciones mamaras, hepáticas y renales hormono-dependientes.

Esto lleva a los investigadores a proponer que los OGM's agrícolas comestibles y los pesticidas formulados, tienen que ser muy cuidadosamente evaluados en estudios de larga duración para medir sus efectos tóxicos potenciales.

En este juicioso estudio se utilizó además de Roundup, maíz transgénico Bt (*Bacillusthuringiensis*) con las consecuencias ya anotadas. Es el punto para resaltar en este trabajo específico en ratas, la anotación de los autores sobre la gran importancia de realizar evaluaciones muy cuidadosas y a largo plazo, en agricultura de alimentos, sobre los efectos tóxicos potenciales de estos pesticidas y OGM's. Respecto al mismo tipo de organismos J. Riechmann -2004²⁷- plantea que, en el caso de los transgénicos, se pueden dar efectos "en cadena" en los agrosistemas y ecosistemas. "Uno de los problemas pre-visibles –escribe este autor- de la utilización masiva de plantas transgénicas resistentes a los herbicidas y equipadas con toxinas insecticidas sería la drástica disminución de insectos y 'malas hierbas' en los campos de cultivo, que sirven a su vez de alimento a aves y otros animales: estos serían afectados en tal caso". Riechmann cita una investigación de C. Crechchio y G. Stotzky de 1998, en la cual se encuentra que las toxinas insecticidas del Bt pueden acumularse en el suelo y ge-

nerar entonces, graves impactos sobre la biodiversidad a través de los efectos devastadores sobre los insectos polinizadores y otros tipos de insectos²⁸.

El problema va aún más allá. La organización "Ecologistas en Acción"²⁹, dan cuenta de la gravedad del fenómeno de la aparición de "resistencia (en insectos) a la toxina insecticida en los insectos plaga, sobre todo si la superficie cultivada es muy extensa y uniforme", características estas últimas, dominantes en la forma de producción agrícola de la revolución verde.

Y hay algo más, señalado por esta organización, cual es el caso de algunas variedades del maíz Bt, a las cuales se les ha incorporado un gene marcador de resistencia a la ampicilina, lo que seguramente, agrega un elemento más de preocupación por la proliferación de cepas bacterianas resistentes a los antibióticos.

Este tipo de problemas viene siendo motivo de preocupación desde 1974, cuando un grupo de biólogos moleculares eminentes publicó una carta en *Nature* y en *Science* en la que propusieron una moratoria para cierto tipo de recombinaciones de DNA (rDNA), que sin embargo, sólo tuvo como aplicación por poco más de un año, y luego se volvieron a retomar los desarrollos de ese tipo de trabajos.

Precisamente en 1991, en un reporte de circulación interna de la BMA³⁰,

27 J. Riechmann. 2004. Cultivos y alimentos transgénicos: una guía crítica. Ediciones Pensamiento Crítico. Bogotá. P. 80.

28 C. Crechchio and G. Stotzky. 1998. Insecticidal activity and biodegradation of the toxin from *Bacillus thuringiensis*ssp. *Kurstaki* bound to humic acids from soils. *Soils Biology and Biochemistry* 30: 463-70.

29 Ecologistas en Acción. 2012. Cultivos transgénicos en el mundo. WWW.ecologistasenaccion.org/article/3175.html.

30 BMA (British Medical Association) 1991. *The New Genetics. (A report of the BMA on the Scientific Basis and Social and Ethical consequences of Gene Isolation, Analysis and Therapy)*. London. P. 80.

se llamaba la atención sobre los riesgos del consumo de alimentos vegetales y plantas a los cuales se les habían insertado nuevos genes que habían alterado sus propiedades nutricionales y toxicológicas. Igual precaución es válida para el caso de vacunas hechas con cepas genéticamente modificadas. Se señala entonces, que frente a estos riesgos el Ministerio de Agricultura del Reino Unido ha recomendado a los fabricantes que empleen sellos especiales que indiquen que ese alimento ha sido producido con material biológico genéticamente modificado que altera la naturaleza del alimento.

Sin embargo, evidentemente hay un gran poder de las «Corporaciones transnacionales», lo cual ha sido puesto de relieve por J. Riechmann -2004³¹- quien escribe: “El problema no es la ‘biotecnología’ en sí misma, sino la biotecnología de las multinacionales”. Con otras palabras R. B. Laughlin-2007³²- premio Nobel de física en 1989, se plantea el mismo problema: “El valor que aporta la biotecnología a la ingeniería tiene poco que ver con comprender los secretos de la vida, porque, en realidad, lo que importa aquí es la creación de nuevas drogas y tratamientos para la medicina o de organismos artificiales para la agricultura”. Y para rematar esta crítica directa a la tecnoeconomía de las transnacionales, concluye diciendo: “Detrás de

estos sensacionales logros técnicos se oculta un vacío científico, pues, en el fondo, los responsables no saben que es lo que están haciendo”.

En este sentido, el reporte ya citado de la BMA, cita una interesante apreciación del filósofo J. Ravetz de 1990, en la que se dice: “No hay precedentes en toda la historia de la ciencia de que un grupo de científicos sean llamados a realizar un alto en su trabajo, y confiar en la fuerza del consenso para asegurarse de que sus colegas en otros países no los engañen. Si Leo Szilard hubiera tenido éxito con sus esfuerzos para lograr una moratoria entre muchos grupos pequeños de científicos atómicos en 1938, la historia subsecuente del mundo hubiera sido mucho más simple y segura”. Esta cita es de un texto titulado la “La fusión del Poder con el Conocimiento”.

Es en este punto donde puede explicarse, lo de otra manera inexplicable, de que algunos investigadores coloquen ya, al final de la publicación de sus investigaciones la nota: “*The authors declare that there are no conflicts of interest*”, con la cual quieren señalar explícitamente su independencia de las transnacionales que son las grandes patrocinadoras de las investigaciones «científicas» que deben conducir a la generación de un producto que llene aún más sus arcas de acumulación.

31 Opus cit., p. 30.

32 R. B. Laughlin. 2007. Un universo diferente (La reinversión de la física en la Edad de la Emergencia). Trad. Por S. Jawerbaum y J. Barba. Katz editores. Buenos Aires. P. 205.

Referencias bibliográficas

1. BMA (British Medical Association) 1991. The New Genetics.(A report of the BMA on the Scientific Basis and Social and Ethical consequences of Gene Isolation, Analysis and Therapy).London. P. 80.
2. FAO. 1981. Tropical forest resources. Roma.
3. FAO. 1996. Enseñanzas de la revolución verde: hacia una nueva revolución verde
4. Idem, p. 356.
5. Humboldt. A. de 1991. Viaje a las regiones equinociales del nuevo continente. Trad por. J. Nuceta Sardi y L. Alvarado. Monte Ávila Editores. Caracas. T. 5, p. 46.
6. Kauffman. S, 2003. Investigaciones. Trad. Por L. E. de Juan. Tusquets editores. Barcelona. P. 122.
7. Idem, p. 79.
8. Kostler.A,1978. Proteger el medio ambiente. En "Del temor a la Esperanza". UNESCO.
9. Laughlin.R.B. 2007. Un universo diferente (La reinversión de la física en la Edad de la Emergencia). Trad. Por S. Jawerbaum y J. Barba. Katz editores. Buenos Aires. P. 205.
10. Maturana L y F. Varela. 1997. De máquina y seres vivos (Autopoiesis: la organización de lo vivo). Editorial Universitaria. Santiago de Chile. P. 69.
11. Myers.M. 1996. Selvas tropicales. En "El calentamiento del Planeta: Informe de Greenpeace". Trad. Por I. Vericat. Fondo de Cultura Económica. México. .p. 393- 423.
12. Margaleff.R. 1992. Ecología. Editorial Planeta. P. 218.
13. G. Márquez C. 1996. Ecosistemas estratégicos (y otros estudios de ecología ambiental). Fonde FEN. Colombia. Bogotá. P. 82.
14. Odum.H.T. 1980. Ambiente, energía y sociedad. Trad. Por Diorki. Editorial Blume. Barcelona. P. 115 y ss.
15. Prigogine.I 1993. La termodinámica de la vida. En "¿Tan sólo una ilusión? (Una exploración del caos al orden). Trad. Por F. Martín. Tusquets editores. Barcelona. P. 311.
16. Riechmann, J. 2004. Cultivos y alimentos transgénicos: una guía crítica. Ediciones Pensamiento Crítico
17. Schrödinger.E 1986. ¿Qué es la vida? (El aspecto físico de la célula viva). Trad. Por R. Guerrero. Ediciones Orbis. Barcelona.
18. Schneider,E.D. y J. J. Kay,J.J.1999. Orden a partir del desorden: la termodinámica de la complejidad en biología. En "La biología del futuro". Trad. Por A. García L. Tusquets editores. Barcelona. Pp. 225 y ss.
19. Séralini G.E, Clair, Mesnage,R . Gress,S, Defarge, N. Malatesta, M. Hennequin, D. Spiroux de Vendômois,J 2012. Long term toxicity of a Roundup herbicide and a Roundup-tolerant genetically modified maize. Food chem. Toxicol (2012). <http://dx.doi.org/10.1016/i.fct.2012.08.005>
20. Waddington.C. H. 1976. Las ideas básicas de la biología. En "Hacia una biología teórica". Editado por C. Waddington,H y

otros. Trad. Por M. Franco R. Alianza Editorial. Madrid. P. 27.

21. Waddington. C.H. 1976. Paradigma para un proceso evolutivo. En "Hacia una...". P.345.
22. Wasenberg, J 1998. El progreso, ¿un concepto acabado o emergente? En "El progreso, ¿un concepto acabado o emergente?". Editado por J. Agusti y J Wasenberg. Tusquets editores. Barcelona. P. 21.