

VERNADSKY Y LOTKA COMO FUENTES DE LA BIOECONOMIA DE GEORGESCU-ROEGEN ("MENTES QUE SE ADELANTAN A SU EPOCA")

Jacques Grinevald

NUESTRO MEDIOAMBIENTE GLOBAL: LA BIOSFERA

Un paradigma revolucionario introduce, como sabemos, no sólo una nueva visión del mundo sino también una nueva idea de la epistemología y de la historia de la ciencia. La aparición de un paradigma nos da la oportunidad de reconsiderar nuestros conocimientos con una perspectiva histórica y para revisar las tradiciones abandonadas: el libro *Ecological Economics* (Martínez-Alier 1987) es un buen ejemplo de ello.

En el mismo concepto de *revolución científica* (Cohen 1985) están involucrados antecedentes históricos de conocimiento desdeñados u olvidados. Mucho antes que Thomas Kuhn, V.I. Vernadsky, fue, como veremos, un defensor del relativismo cultural aplicado al cambio científico. Sadi Carnot y la revolución termodinámica es un ejemplo bien conocido por los amigos de Georgescu-Roegen. Quizás la expresión "*La revolución carnotiana*" (Grinevald 1975: 66; 1976; 1977; Georgescu-Roegen 1977; 1978: 353; Serres 1980: 77) no siempre se haya adoptado, pero el estudio interdisciplinario entre *Termodinámica y Economía* se acepta ahora en medios académicos (véase Entropie 1982; Ayres 1984; Faber y Proops 1985).

Mi contribución en este artículo se puede considerar como una muestra de la creciente literatura sobre la obra de Georgescu-Roegen (véase Dragan y Deme-

trescu 1986). Es también un subproducto de un informe a ECOROPA titulado *The Biosphere: origins, evolution and future of a holistic concept* (1987).

El problema del *desarrollo que puede soportar* la Biosfera es un tema actual en los recientes programas de investigación científica internacional (véase Malone 1986) como el *Global Habitability* de la NASA (Goody 1982; McElroy 1983), el *Sustainable Development of the Biosphere* de IIASA (Clark y Munn 1986), y el *International Geosphere Biosphere Programme* de ICSU (Malone y Roederer 1985; ICSU 1986). El Programa de las Naciones Unidas para el Medioambiente (UNEP) ha sido a veces un instrumento útil para esas nuevas inquietudes internacionales sobre el medio ambiente mundial (Tolba y White 1979), el "ecodesarrollo" y "desarrollo sostenible" (Tolba 1987).

Una primera dificultad metodológica que presenta este tema es la misma palabra biosfera. El término biosfera, como el término entropía, se emplea con significados a menudo contradictorios. La biosfera (*stricto sensu*, según la clásica *Geochemistry* de V.M. Goldschmidt, 1954) se define como la totalidad de los organismos vivos, incluyendo a los microorganismos y hasta a la población humana, porque el ser humano, como todos los demás organismos heterótrofos, depende de *la producción primaria de la biosfera* o recursos vivos (Lieth y Whittaker 1975).

Esta definición se emplea internacio-

nalmente. Lo mismo ocurre con el concepto de "reserva de la biosfera" salido del programa *Man and the Biosphere (MAB)* de la UNESCO y también con la *Strategy for World Conservation* (IUCN, UNEP, WWF 1980). Biosfera es, por tanto, sinónimo a menudo del término científico *biota*, denominado "materia viva" por Vernadsky (1944). En la obra de Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955) el término "biosfera" define una fina película de sustancia vital que envuelve la superficie de la Tierra. Según Teilhard, el crecimiento de la "Noosfera", incluyendo lo que ahora se denomina, a veces, la tecnosfera, se consideraba "fuera y por encima de la biosfera" (Grinevald 1987). Los científicos sociales, aceptando la separación institucionalizada entre las llamadas "dos culturas", creen que sólo les concierne la Noosfera.

La biosfera, considerada como el mundo vivo, parece una reserva para los científicos naturales. De aquí que, el término biosfera en sentido restringido lo empleen ampliamente los biogeógrafos, geoquímicos, biólogos e incluso muchos ecólogos. Esta tradición se atribuye, a menudo, a Lamarck. Con una ignorancia notoria del trabajo de Vernadsky, se propuso el término *ecosfera* (Cole 1958; Gillard 1969) para designar la esfera ecológica de la vida, el medioambiente global donde la vida es posible. Según Evans (1956), "podemos desear tener una visión planetaria de la vida y considerar que la biosfera, con la globalidad de su medioambiente, es un ecosistema gigantesco". Desafortunadamente, el término *ecosfera* se emplea a menudo (incluso por Barry Commoner o Jonathan Schell) como sinónimo del término biosfera. Se olvida la propia historia del concepto de biosfera.

VERNADSKY Y LA BIOSFERA

El concepto de "biosfera" fue acuñado, ciertamente, por el geólogo austriaco Eduard Suess (1831-1914) en el capítulo último y más general de su breve libro, de 1875, sobre la génesis de las montañas, *Die Entstehung der Alpen*. Describió la estructura de la tierra como un sistema integrado de capas, que incluía *eine selbständige Biosphäre*, o la geosfera de la vida, en inte-

racción con la litosfera, la hidrosfera, y la atmósfera. En este libro (que nunca se tradujo), Suess explicó sus primeros puntos de vista geotectónicos que fueron luego desarrollados por completo en su obra crucial, en varios volúmenes, *Das Antlitz der Erde* (1883-1909). Como en el primer libro de 1875, la "Vida" (la biosfera) fue también el capítulo final del último volumen (1909) de "El Rostro de la Tierra". De modo que tanto el primero como el último trabajo de Suess concluyen con la idea de la biosfera. Pero, curiosamente, los historiadores de la ciencia, e incluso de la geología han olvidado este hecho por completo. Este monumental tratado sobre geología del planeta tuvo un gran éxito y se tradujo a muchos idiomas. En la traducción francesa, *La Face de la Terre*, editada por Emmanuel de Margerie, el último volumen apareció en 1918. Este fue un gran acontecimiento para la geografía y la geología. La obra de Suess fue considerada como "la síntesis geológica" en 1919 por el historiador de la ciencia Georges Sarton, quien, casualmente desconoció tanto el concepto de biosfera como el revolucionario libro de Wegener sobre la deriva de los continentes, escrito en 1915.

El minerólogo ruso *Vladimir Ivanovich Vernadsky* (1863-1945), fue un pensador entusiasta de esta idea de la biosfera de Suess, junto con *Pierre Teilhard de Chardin* (1881-1955), entonces profesor de geología del Institut Catholique, y con el matemático convertido en filósofo *Edouard Le Roy* (1870-1954), sucesor de Bergson en el Collège de France. Vernadsky y Teilhard, ambos geólogos, tenían muchos amigos en común, incluyendo al minerólogo Alfred Lacroix (1863-1948), secretario vitalicio de la Academie des Sciences. La "evolución creadora" de Bergson estimuló a Vernadsky, como les había ocurrido a Teilhard y a Le Roy. Por desgracia, sabemos muy poco del fructífero encuentro, en París, durante la década de 1920, entre Vernadsky, Le Roy y su amigo Teilhard de Chardin. Pero el concepto de Noosfera fue resultado de sus discusiones (véase Teilhard de Chardin 1956; Vernadsky 1945).

Inspirado por el punto de vista *holístico* de grandes naturalistas como Buffon,

Lamarck, Alexander von Humboldt, sus maestros de San Petersburgo y sobre todo Vasili V. Dokuchaev (1846-1903), fundador de la pedología (la ciencia del suelo) siguiendo una tradición científica del siglo diecinueve en agroquímica de la que son buen ejemplo Liebig en Alemania y Dumas y Boussingault en Francia, y adoptando el *paradigma termodinámico* de la *energía* (había pasado algún tiempo trabajando en los laboratorios de Henri Le Châtelier, donde aprendió termodinámica química), Vladimir Vernadsky desarrolló una *perspectiva biogeoquímica* original sobre el planeta vivo Tierra, considerado como un *todo*, y definió la biosfera como la capa periférica de la tierra junto con su atmósfera circundante donde la vida es posible y se ve activada por las radiaciones del Sol. En este sentido, fue el padre fundador de la Ecología Global.

En Francia, V.I. Vernadsky publicó muchos escritos sobre los ciclos biogeoquímicos de la biosfera, que incluyen las alteraciones de aquellos debidas a las actividades industriales del hombre. Los artículos de Vernadsky aparecieron sobre todo en la *Revue générale des sciences*. Un escrito titulado *L'autotrophie de l'humanité* (Vernadsky 1925) estaba especialmente relacionado con el problema "bioeconómico" de los recursos naturales.

El primer libro de Vernadsky sobre estudios de la biosfera se publicó bajo el título *La Géochimie* en París, en 1924. Este libro académico, bien documentado, se basaba en las conferencias dadas en 1922-23 como profesor de la Sorbona. Se tradujo al ruso en 1927 (una segunda edición apareció en 1934), al alemán en 1930, al japonés en 1934, pero hasta ahora, que yo sepa, nunca al inglés [ni al castellano].

Durante la guerra, Vernadsky surgió como destacado promotor y reformador científico. En 1915, consciente de la crítica situación de Rusia, demasiado dependiente de Alemania, organizó, como académico, la Comisión para el Estudio de las Fuerzas Productivas Naturales (el llamado KEPS), y se convirtió en su presidente. En 1921, fundó el Instituto de Radiación de Moscú, donde se formaron muchos de los primeros científicos nucleares soviéticos. Fue amigo

de Pierre y de Marie Curie. La Gran Guerra fue de verdad la primera guerra *mundial*. Como Teilhard y Le Roy, Vernadsky concebía al hombre sobre la Tierra bajo una perspectiva global, dinámica y cósmica, con un toque de vitalismo bergsonianos.

La Primera Guerra Mundial causó, de este modo, un impacto decisivo en su mente, transformando su visión de la vida y la Tierra y cristalizando su concepción del "hombre civilizado" como "una fuerza geológica". En *La Géochimie* introdujo la idea de "la actividad geoquímica de la humanidad" (Vernadsky 1924: 341-344). Fue el primer científico, en la historia de la ciencia moderna, que observó las actividades del hombre en interacción con los ciclos globales naturales de los elementos. Así, ¡había llegado la hora de la ecología humana!

La comunidad científica anglófona se ha percatado de la importancia de esta perspectiva biogeoquímica holística, y el actual progreso se debe, en gran parte, a los esfuerzos del Scientific Committee on Problems of the Environment (*SCOPE*) del IC-SU, creado en 1969, y su Proyecto sobre los Ciclos Biogeoquímicos (Bolin y Cook 1983). Esta ciencia vernadskiana es ahora una parte integrante de los programas de investigación científica internacionales sobre habitabilidad en el planeta, cambio global y desarrollo sostenible de la biosfera.

El concepto de Vernadsky de la actividad geoquímica del hombre también puede considerarse como parte del tema histórico del hombre y la naturaleza tal como lo perfiló Clarence J. Glacken (1956) o, con énfasis en la economía destructiva (el término alemán era, en aquella época, *Raubwirtschaft*, Jussi Raunolin, 1984). Las ideas sobre el hombre y la tierra ya desarrolladas hacia 1900 por algunos geógrafos y geólogos, especialmente en América y Alemania influenciaron a Vernadsky. En Rusia, colegas de Vernadsky como Aleksei P. Pavlov (1845-1929) y Alexander I. Voeikov (1842-1916), ambos eminentes geocientíficos, expresaron ideas similares.

Vernadsky subrayó la idea de una nueva edad antropogénica en la historia de la Tierra. Antes de adoptar el término "Noosfera" (Vernadsky 1945), que Teilhard de

Chardin acuñó en 1925 por analogía al término de Suess biosfera, y que había aparecido con anterioridad en libros de Le Roy (1927, 1928), Vernadsky (1924: 342) definió "nuestra época geológica" como la "era psicozoica, la era de la razón", atribuyendo esta expresión al paleontólogo de Yale Charles Schuchert (1858-1942), pero remontó los orígenes de esta idea hasta Buffon, como hizo el historiador francés Lucien Febvre (1878-1956) en su libro de 1922 titulado *La Terre et l'évolution humaine*.

Inmediatamente después de su más larga estancia en Francia, desde julio de 1922 hasta diciembre de 1925, el científico ruso, de 63 años, publicó en Leningrado un nuevo libro titulado en ruso *Biosfera* (reeditado en Moscú en 1967). Fue la primera monografía científica con este título. En 1929, se publicó en París una versión francesa revisada, *La Biosphère* en la misma "Nouvelle collection scientifique" dirigida por Emile Borel y se presentó como una continuación de *La Géochimie*. (Precisamente ahora se puede conseguir una traducción abreviada en inglés, pero es muy insatisfactoria, como he señalado en una reseña del libro en *Environmental Conservation*, 1986, 13(3), 285-286). El libro tenía dos partes: Parte I, "La Biosfera en el Cosmos"; Parte II, "El Terreno de la Vida".

En un nuevo apéndice titulado: "La materia viva y la evolución de las especies" (de 1928), Vernadsky escribía:

"No merece la pena insistir en el extremado incremento de la presión de la vida sobre la biosfera, provocada por la aparición del *homo sapiens* evolucionado; al cual, al parecer, se le puede llamar *homo sapiens faber* combinando las terminologías de Linné y Bergson y empleando la triple característica de la especie. La idea de *homo sapiens faber* es un hecho nuevo que cambia la estructura de la biosfera después de miríadas de centurias." (Vernadsky 1929: 220).

DE LA BIOGEOQUIMICA DE VERNADSKY A LA GEOFISIOLOGIA DE LOVELOCK

George Vernadsky (1887-1973), único

hijo de Vernadsky, emigró a América a finales de la década de 1920 y llegó a ser profesor de Historia de Rusia en la Universidad de Yale, con la ayuda de otro emigrado ruso, el naturalista Alexander Petrunkevitch. Allí conoció al biólogo *George Evelyn Hutchinson*, nacido en Cambridge en 1903 y profesor de Yale desde 1928. En la década de 1940, G.E. Hutchinson adoptó explícitamente en sus escritos el paradigma biogeoquímico de Vernadsky y su concepto de biosfera.

En su autobiografía titulada *The Kindly Fruits of the Earth* (Yale University Press, 1979, pág. 233) Hutchinson escribe: "Vernadsky ejerció una fuerte influencia en otros aspectos de mi investigación, y yo hice todo lo que pude para ayudar a Petrunkevitch y George Vernadsky en la tarea de dar a conocer mejor las ideas de aquél sobre la biosfera, en los países anglófonos." Ciertamente, G.E. Hutchinson ayudó a publicar dos traducciones de obras de Vladimir Vernadsky hechas por George: *Problems of Biogeochemistry in Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* (Vernadsky 1944) y *The Biosphere and the Noosphere in American Scientist* (Vernadsky 1945).

En 1942 el Profesor Hutchinson contribuyó a la publicación del artículo, que hizo época, sobre el flujo de energía en los ecosistemas (véase Cook 1977) titulado. *The Trophic-Dynamic Aspect of Ecology*, escrito por el joven y malogrado Raymond Lindeman (1916-1942), su íntimo colaborador en los trabajos de postdoctorado en la Universidad de Yale. Esta contribución, ahora clásica, al paradigma energético de la ecología de los ecosistemas —"la eclosión de la nueva ecología" (Worster 1977: 306), "una línea divisoria en la ecología" (McIntosh 1985: 125)— se escribió siete años después de que el ecólogo británico *Arthur Tansley* (1871-1955) definiera el concepto propio de *ecosistema*. R. Lindeman explicó su punto de vista como "íntimamente ligado al enfoque "biogeoquímico" de Vernadsky" (Lindeman 1942: 399) adoptado ya por Hutchinson. *La Biosphère* de Vernadsky se citó en las referencias bibliográficas.

Para la prehistoria de la hipótesis de

Gaia, es interesante hacer notar la siguiente puntualización de Lindeman:

“Los ecosistemas naturales pueden tender a acercarse a un estado de equilibrio trófico bajo ciertas condiciones, pero es dudoso que alguno sea lo suficientemente autóctono como para alcanzar o mantener un verdadero equilibrio trófico durante un tiempo considerable. Sin embargo, la biosfera como un todo puede mostrar un alto grado de verdadero equilibrio trófico, como asevera Vernadsky (1929, 1939) con tanto vigor”. (Lindeman 1942: 411).

G.E. Hutchinson llegó a ser el maestro de una gran escuela de ecología en la que encontramos al ecólogo del flujo de energía en ecosistemas Howard T. Odum o al ecólogo de la biosfera John Vallenlyne (1984). El libro de Ramón Margalef *La Biosfera* (Barcelona, Omega, 1980), a pesar de ignorar a Vernadsky, se vincularía a la escuela de Hutchinson.

En Septiembre de 1948, en la misma línea que *Fairfield Osborn* (1887-1969), que acababa de publicar *Our Plundered Planet*, el Profesor Hutchinson presentó una comunicación titulada *On Living in The Biosphere* que proporcionaba un marco intelectual global de la biosfera en el simposio del centenario de AAAS sobre *Los Recursos Naturales del Mundo*. En su bonito libro de 1965, titulado *The Ecological Theater and the Evolutionary Play*, definió la Biosfera. En septiembre de 1970, se dedicó a “La Biosfera” un número extra del *Scientific American*. También se pudo adquirir en formato de libro. Ese fue un año fundamental para el surgimiento del movimiento ecologista, el año de “la revolución medioambiental” y “la crisis ecológica”, dos años después de la Conferencia sobre la Biosfera, convocada por la Unesco en París (véase Unesco 1970), y dos años antes de la Conferencia de Estocolmo de las Naciones Unidas sobre el Medioambiente Humano (véase Caldwell 1972, 1984). En su autorizada introducción para el número extra de la revista *Scientific American* sobre la biosfera, G.E. Hutchinson declaraba: “El concepto de biosfera que aceptamos hoy día es esencialmente, el concepto de biosfera de Vernadsky, que éste desarrolló unos 50 años después de que Suess lo utilizara.”

Pero el impacto del concepto de biosfera de Vernadsky fue más fuerte en la escuela rusa de ecología que en la del occidente. Los ecólogos rusos, estimulados por el enfoque holístico, termodinámico y biogeoquímico de *La Biosphère* de Vernadsky de 1926, desarrollaron un paradigma energético-ecológico una década antes que los ecólogos de Yale, Hutchinson y Lindeman. Anticipándose al trabajo pionero de Lindeman y, por supuesto, al paradigma eco-energético de Howard Odum (Odum 1971), el ecólogo ruso *Vladimir V. Stanchinskii* (1882-1942) hizo “quizás el progreso más apasionante de este periodo”, según Douglas Weiner (1982, 1984), historiador de ecología y del movimiento medioambientalista de la Unión Soviética.

La influencia de Vernadsky también se hizo patente en el concepto de “*biogeocoenosia*”, similar al de ecosistema pero de más amplio alcance, desarrollado por el gran ecólogo botánico ruso *Vladimir Nikolaevich Sukachev* (1882-1967) y su escuela.

En la última síntesis de 1964, traducida al inglés en 1968, bajo el título “*Fundamentals of Forest Biogeocoenology*”, se definió este concepto como sigue: “Biogeocoenosia es la combinación, en un área específica de la superficie de la Tierra, de fenómenos naturales homogéneos (atmósfera, estratos minerales, vida vegetal, vida animal, y vida microbiana, condiciones de suelo y de agua) que poseen un tipo específico de interacción de estos componentes y un tipo definido de intercambio de materia y energía entre ellos y con otros fenómenos naturales, y que representan una unidad dialéctica internamente contradictoria, que está en constante movimiento y desarrollo.” (Sukachev y Dylis 1978: 26).

La composición química hidrosférica y atmosférica y los suelos son parcialmente productos biológicos, y quizás incluso están biológicamente controlados por la biota. El planeta Tierra sostiene la vida porque ahí hay vida. La biota, los suelos, los océanos y la atmósfera constituyen una gigantesca retroalimentación o sistema cibernético. La idea de “*El Mundo como un organismo vivo*” (Lovelock 1986 a) no es nueva, pero hoy día es más que mitolo-

gía; es una hipótesis científica revolucionaria que coincide con la *hipótesis de Gaia* que se introdujo por primera vez en 1972 (Lovelock 1972) y el químico atmosférico británico James E. Lovelock desarrolló en colaboración con Lynn Margulis, innovadora en microbiología, en la Universidad de Boston (Lovelock y Margulis 1974; Margulis y Lovelock 1975). En 1979, James E. Lovelock, conocido ya por la controversia sobre la capa de ozono, presentó sus ideas sobre la Biosfera al gran público en un sugestivo libro titulado *Gaia: A New Look of Life on Earth*. Reseñando la reciente versión inglesa de *The Biosphere* de Vernadsky ("Prehistory of Gaia", *New Scientist*, 17 de Julio de 1986), J.E. Lovelock declaró que había descubierto en Vernadsky a su "más ilustre predecesor".

Como hemos visto, el vínculo entre la Geofisiología de Gaia de Lovelock y la Biogeoquímica de La Biosfera de Vernadsky es el ecólogo de Yale G.E. Hutchinson. Esta conexión resulta particularmente evidente en el capítulo sobre *la bioquímica de la atmósfera terrestre* escrito por G.E. Hutchinson para el volumen titulado *The Earth As A Planet*, editado en 1954 por el astrónomo del sistema solar Gerard Kuiper (1905-1973), que Lovelock cita.

En la Conferencia Internacional sobre Interacciones Climáticas, Bióticas y Humanas en los Trópicos Húmedos con Énfasis en las Interacciones de la Vegetación y del Clima en la Amazonia, convocada por la Universidad de Naciones Unidas en el Instituto de Pesquisas Espaciales de São José dos Campos, Brasil, del 25 de febrero al 1 de marzo de 1985, J.E. Lovelock aportó el concepto de *geofisiología* (Lovelock 1986; las actas de esta Conferencia están editadas en Dickinson 1987) como una visión holística del ecosistema global de la Tierra.

Al igual que ocurrió con su contemporáneo, el astrónomo alemán convertido en meteorólogo, Alfred Wegener (1880-1930), padre de la hipótesis de la deriva continental y con el brillante geólogo suizo Emile Argand que, en 1922, hablaba ya de la "movilidad" de la Tierra,⁹ a V. Vernadsky se le entendió muy poco y, finalmente, quedó relegado al olvido hasta hace pocos años. Su enfoque ecológico global de la

biosfera de la Tierra, que incluye las actividades humanas, iba por delante de su época. "¿Existen mentes que se adelantan a su época?" (véase Georgescu-Roegen 1984), ésta es una pregunta bien conocida por los amigos de Georgescu-Roegen y por los estudiosos de la revolución carnotiana. Entre estos pioneros, me gustaría añadir aquí el nombre de Robert F. Mueller, un antiguo planetólogo de la NASA del Goodard Space Flight Center, que presentó en la Reunión Anual de la American Geophysical Union, celebrada en marzo de 1971 en Washington, una comunicación importante, aunque pasó desapercibida, titulada *Thermodynamics of Environmental Degradation* (NASA TM-X-65492) que fue una brillante exposición de lo que Georgescu-Roegen proponía, pero sin referirse a él en ese momento. Hoy día Robert F. Mueller, que es ahora independiente, escribe en la revista medioambiental radical *Earth First!*

En último lugar, aunque no por ello de menor importancia, debemos tener en cuenta que la hipótesis de Gaia, resultado en parte del programa espacial de la NASA, está recibiendo una seria consideración por parte de los más prominentes científicos de la atmósfera (a menudo vinculados al debate sobre *Invierno Nuclear*) y de los promotores (con frecuencia son los mismos nombres) de los programas de investigación científica internacional sobre la Geosfera-Biosfera (véase Malone 1984, 1986; Malone y Roederer 1985: xiii + xiv; Clark y Munn 1986: 16, 199-212, 292-320). Véanse también los "Comentarios finales" del estudio sobre *Atmospheric Carbon Dioxide and the Global Carbon Cycle*, editado por John R. Trabalka y publicado por el US Department of Energy en 1985 (DOE/ER-0239).

BIO(SFERICA)ECONOMIA: UNA REVOLUCION CIENTIFICA INMINENTE

Del mismo modo que ahora el nombre de Wegener se asocia con la nueva visión geofísica de nuestro viejo planeta Tierra, el de Vernadsky se asocia hoy día con el concepto holístico de la biosfera de la Tierra (véase la literatura soviética sobre la Ecología Global, especialmente *Evolution of the Biosphere* de Kamshilov, 1976; *Global Eco-*

logy 1980 y *The Evolution of the Biosphere*, 1986 de Budyko; o, más fácil de encontrar, el reciente y excelente libro titulado *Planet Earth* de Jonathan Weiner, 1985).

Pero, debido a la predominante visión mecanicista del mundo y al paradigma atomista moderno, la aparición de la teoría de la biosfera todavía no está universalmente aceptada como una revolución intelectual importante. La literatura en boga sobre el concepto de revolución en las ciencias (Cohen 1985), incluyendo, por supuesto, la economía (Hutchinson 1978), la ignora. El mismo término biosfera, como símbolo de la envoltura ecológica de la Tierra en la que vivimos, todavía no es un término de uso interdisciplinario. Los grandes filósofos e historiadores de la ciencia de nuestra época lo pasan por alto, ignoran por completo el significado revolucionario del nacimiento del concepto holístico de la biosfera. Se debe reconsiderar el problema del desarrollo económico de la humanidad dentro del marco de la ecología global de la biosfera.

Un lector singular de *La Biosphère* de Vernadsky fue el escritor francés *Georges Bataille* (1897-1962), que preparó un libro sobre economía con la ayuda de su amigo el físico *Georges Ambrosino* (1912-1984). Esto sucedía en la década de 1930, pero el famoso libro *La part maudite* no se publicó hasta 1949. El integró el proceso económico general dentro del flujo energético del globo, y escribió citando a Vernadsky, "exactamente la biosfera" (Bataille 1967: 80). Por tanto, podemos incluir el nombre de G. Bataille dentro del grupo de los precursores del punto de vista bioeconómico. Pero Bataille es una excepción y su inspiración en Vernadsky pasó desapercibida.

Mayor importancia ha tenido un pequeño equipo internacional de prominentes ecologistas globales que aducían, desde 1980, principalmente a través de la revista científica *Environmental Conservation* (Vallentyne 1980, Polunin 1982, 1984), que es necesaria una *Campaña mundial en favor de la biosfera*.

Alfred Lotka (1880-1949), científico poco común, estuvo en contacto con G. Vernadsky en América, durante la década de 1920. Como Vladimir Vernadsky, y re-

conociendo la conexión entre su trabajo y el de aquél, Lotka estaba interesado en la geoquímica y en los ciclos biogeoquímicos; también adoptó el enfoque holístico del mundo al que consideraba como un sistema total. Las actividades del hombre son parte de *la gran máquina del mundo que, para su funcionamiento continuo debe, necesariamente, trabajar en ciclos*; por tanto, *la imagen que se presenta en nuestras mentes es la de una supergigantesca rueda de molino* (Lotka 1925: 334). ¡Esta es la imagen ecológica de *The Closing Circle* de Barry Commoner!

Pero Lotka recalcó: el presente es una época sumamente atípica, porque "económicamente estamos viviendo de nuestro capital y biológicamente estamos cambiando de forma radical el cariz de nuestra participación en el ciclo de carbono al arrojar a la atmósfera, por medio de las cocinas de carbón y de los hornos metalúrgicos, diez veces más dióxido de carbono que por el proceso biológico natural de la respiración". (Lotka 1925: 222).

¡Por aquel entonces, el problema del CO₂ no constituía una preocupación medioambiental a nivel internacional! ¡Lotka fue una mente que iba por delante de su época!

Todos los estudiosos de la obra de Georgescu-Roegen conocen el nombre de Alfred Lotka. Nacido en la parte de Ucrania que entonces pertenecía a Austria, estudió en Alemania, Francia e Inglaterra. Lotka tuvo una formación físico-química profundamente influenciada por *Friedrich Wilhelm Ostwald* (1853-1932), el exponente del paradigma energético con mayor éxito de la época, e incluso, como actualmente ha señalado Georgescu-Roegen, del "dogma energético". Hoy es bien conocida la vertiente energética de las obras de Lotka. Conocemos sus observaciones sobre "los factores económicos de conversión de la energía" (Lotka 1921), su visión de "la selección natural como un principio físico" (Lotka 1922 a, 1922 b, 1944, 1945), utilizando las leyes de la termodinámica; sabemos que su libro de 1925 titulado *Elements of Physical Biology* que se consideró como un clásico de la ecología en la época de su reimpresión en 1956 bajo el título *Elements*

of *Mathematical Biology*, fue una fuente de carácter científico para la perspectiva bioeconómica de Nicholas Georgescu-Roegen. Según Lotka, pero también según algunos físicos franceses como Bernard Brunhes y Jean Perrin, o incluso Bergson, la ley de entropía, la segunda ley de la termodinámica, era la ley del cambio irreversible y de la Evolución.

Ciertamente, Georgescu-Roegen está en deuda con Lotka no sólo por el concepto de tecnología como *instrumento exosomático*, sino también por la idea básica de los fundamentos biológicos de la economía (Lotka 1925: 354).

Lotka (1925: 355) citaba a *Ludwig Boltzmann* (1844-1906) en una conferencia leída en la Academia Imperial de Ciencias de Viena en 1886, sobre "La segunda ley de la teoría mecánica del calor", al señalar que la economía de la vida es principalmente una competición por la energía disponible. El físico teórico austriaco *Erwin Schrödinger* (1887-1961), antiguo profesor de la Universidad de Viena como Boltzmann y Suess, inspirado sin duda por la conferencia de Boltzmann en 1886, escribía en su breve clásico, de 1944, *What is life?* —que fue otra fuente científica para Georgescu— que la vida no se alimenta de simple materia y de simple energía sino de "entropía negativa", denominada *negentropía* por el físico francés Léon Brillouin (1889-1969), y más correctamente de *baja entropía*, como prefiere decir Georgescu-Roegen (1966: 82; 1971: 192; 1976: 9).

Es interesante citar aquí el párrafo exacto de Boltzmann de 1886:

"La lucha general de los seres animados por la existencia no es, por tanto, una lucha por las materias primas —éstas, para los organismos, son aire, agua y tierra, disponibles todas ellas en abundancia— ni por la energía, que existe en abundancia en cualquier cuerpo en forma de calor (aunque, desafortunadamente, no transformable); sino que es una lucha por la entropía, que se hace accesible a través de la transición de la energía del cálido sol a la fría tierra. A fin de sacar el mayor provecho de esta transición, las plantas extienden su inmensa superficie de hojas y, antes de que repercuta en la temperatura de la tierra,

fuerzan a la energía del sol a realizar, en forma todavía inexplorada, ciertas síntesis químicas de las cuales nadie en nuestros laboratorios ha dicho, por ahora, la última palabra. Los productos de esta cocina química constituyen el objetivo de la lucha del mundo animal". (Boltzmann 1974: 24).

La visión ecológica planetaria o global de que los humanos, como todos los seres vivos, son una parte de la biosfera del planeta Tierra (o *Gaia*, según Lovelock) se debe considerar como una importante (r)evolución científica de nuestro tiempo. ¡También es una lección urgente para los científicos sociales y especialmente para los economistas!

Es interesante recordar que Lotka, como Vernadsky, no era ecólogo (aunque se hizo miembro de la Sociedad Ecológica de América en 1925), ni siquiera biólogo, pero tenía también como él un punto de vista holístico y termodinámico de todo el sistema vivo de la Tierra. Ambos comparten una misma idea de la tecnología como instrumento exosomático del *homo faber* (término divulgado por Bergson) y una visión similar del lugar del hombre en la naturaleza. El libro de Lotka *Elements of Physical Biology* se publicó en 1925, de modo que fue contemporáneo de los estudios que Vernadsky hizo de la biosfera. De paso diremos que *holismo* es un término acuñado en esa época por el sudafricano *Jan Christian Smuts* (1870-1950) en un libro publicado en Londres y Nueva York en 1926. Tanto Lotka como Vernadsky se preocuparon por la circulación de los elementos en la naturaleza. Contribuyeron juntos al desarrollo de la *Geoquímica*, una ciencia muy relacionada con la economía de los recursos naturales, que hoy el prominente geoquímico americano *Preston Cloud* presenta en conexión con el paradigma bioeconómico de Georgescu-Roegen (véase su artículo de 1977 "*Entropy, materials, and prosperity*" dedicado "con aprecio a Nicholas Georgescu-Roegen, distinguido economista, realista entre los crédulos del cuerno de la abundancia").

En el estudio de los ciclos biogeoquímicos globales, la tradición científica abierta por Vernadsky y Lotka es, hoy día, una cuestión de interés para la colaboración

científica internacional. Lotka y Vernadsky estudiaron el flujo de energía y materia en la Biosfera e integraron el proceso económico en este sistema planetario. El informe de IIASA titulado *Sustainable Development of the Biosphere* (William C. Clark 1986: 10) cita los nombres de Lotka y Vernadsky como pioneros, ¡pero no cita a Georgescu-Roegen, autor de *The Entropy Law and the Economic Process* y de *Energy and Economic Myths!* ¿Por qué?

Me parece pertinente hacer un paralelismo con Alfred Wegener. Es una cuestión bien sabida que *la revolución científica en (o de) las ciencias de la Tierra* es relativamente reciente, unida, en la década 1960, a nuevas investigaciones en oceanografía y paleomagnetismo, al descubrimiento de la extensión del suelo marino y, finalmente, a la nueva síntesis de la tectónica de placas. Esta fantástica revolución científica fue una "conversión", un cambio completo de la visión del mundo, de la comunidad de científicos de la Tierra después de un largo período de paradigma inmovilista (o dogma) y (con algunas excepciones) de rechazo general de las ideas de Wegener.

En el desarrollo revolucionario de la teoría de la tectónica de placas, la contribución del geofísico canadiense *J. Tuzo Wilson* (nacido en 1908) fue crucial. Él también contribuyó a la toma de conciencia de lo que fue el primero en denominar revolución científica, después de leer el famoso libro de Thomas Kuhn, de 1962, y de quedar impresionado por él. En 1966, Tuzo Wilson publicó muchos escritos abogando por una "revolución Wegeneriana", arguyendo que *Wegener descubrió un tema más amplio de lo que él mismo era consciente y que existe una gran similitud entre la revolución Copernicana y la que podemos llamar Wegeneriana.* (Wilson 1968 b: 273, 279).

En una comunicación titulada *Static or Mobile Earth: the Current Scientific Revolution*, presentado a la American Philosophical Society, en Abril de 1968, *J. Tuzo Wilson* (1968 a: 317) escribía:

"En nuestros días parece que lo que la ciencia de la Tierra necesita más que datos frescos, mejor instrumentación, o nuevas técnicas, es un simple cambio de nuestra

creencia actual de que la estructura de la Tierra es estática, al nuevo concepto de que ha sido dinámica durante largo tiempo. Esta es paralela y similar a la revolución Copernicana y quizás debiera denominarse la revolución Wegeneriana aludiendo a su primer defensor."

Para dar un paso semejante al de Wilson, y más allá de mi concepto de 1976 de revolución Carnotiana, propongo el concepto de *revolución Vernadskiana* como premisa para el descubrimiento de la Biosfera-Gaia y la total comprensión del *paradigma bioeconómico de Nicholas Georgescu-Roegen que representa una revolución científica en la ciencia económica.*

Curiosamente, en un breve y poco conocido artículo titulado "Overdue: another scientific revolution", publicado en "*Nature*" (20 de enero de 1977, 265: 196-197), J. Tuzo Wilson derivó hacia el continente de las ciencias sociales y señaló: "Cuando uno busca un campo maduro para la revolución científica, el único candidato posible parece ser la ciencia marginal de la teoría económica."

BIBLIOGRAFIA

- AYRES, Robert U. e Indira NAIR "Thermodynamics and economics", *Physics Today*, 37(11), 1984, pp. 62-71.
- BAILES, Kendall E. *Vernadsky and the Biosphere*, Irvine, Universidad de California, Departamento de Historia, 1978, 79 p. (no publicado).
- BAILES, Kendall E. "Science, Philosophy and Politics in the Soviet History: The Case of Vladimir Vernadsky", *Russian Review*, 40(3), 1981, pp. 278-299.
- BALANDINE, Rudolf K. *Vernadsky*, Moscú, Mir, 1982, 207 p. (traducción del ruso).
- BATAILLE, George *La part maudite, précédé de la notion de dépense*, París, Minuit, 1967, 234 p.
- BOLIN, Bert y Robert B. COOK, eds. *The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions*, SCOPE 21, Chichester, Wiley, 1983, xxi + 532 p.
- BOLTZMANN, Ludwig *Theoretical Physics and Philosophical Problems*, editado por Brian McGuiness, Dordrecht, Boston, Reidel, 1974, xvi + 280 p.

- BRESSO, Mercedes *Pensiero economico e ambiente*, Turin, Loescher editore, 1982, 217 p.
- BUDYKO, Mikhail *Global Ecology*, Moscú, Mysl, 1980, 323 p., (traducción del ruso).
- BUDYKO, Mikhail *The Evolution of the Biosphere*, Dordrecht, Boston, Reidel, 1986, xv + 423 p.
- CALDWELL, Lynton K. *In Defence of the Earth: International Protection of the Biosphere*, Bloomington, Indiana University Press, 1972, x + 295 p.
- CALDWELL, Lynton K. *International Environmental Policy: Emergence and Dimensions*, Durham, Duke University Press, 1984, xv + 368 p.
- CLARK, William C. y R.E. MUNN, eds. *Sustainable Development of the Biosphere*, Laxenburg, Austria, International Institute for Applied Systems Analysis, Cambridge, Cambridge University Press, 1986, 491 p.
- CLOUD, Preston "Entropy, Materials and Prosperity", *Geologische Rundschau*, 66(3), 1977, pp. 678-696.
- CLOUD, Preston "The Biosphere", *Scientific American*, 249(3), 1983, pp. 176-189.
- COHEN, I. Bernard *Revolution in Science*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1985, xx + 711 p.
- COLE, LaMont C. "The Ecosphere", *Scientific American*, 198(4), 1958, pp. 83-96.
- COMMONER, Barry *The Closing Circle: Nature, Man and Technology*, Nueva York, Knopf, 1971, 326 p.
- COSTANZA, Robert y Herman DALY, eds. "Ecological Economics" Número especial de *Ecological Modelling*, 38, 1987, pp. 1-190.
- DALY, Herman E., ed. *Toward a Steady-State Economy*, San Francisco, Freeman, 1973, x + 332 p.
- DALY, Herman E., ed. *Economics, Ecology, Ethics. Essays toward a steady-state economy*, San Francisco, Freeman, 1980, x + 372 p.
- DRAGAN, Joseph Constantine y Mihail C. DEMETRESCU *Entropy and Bioeconomics: The New Paradigm of Nicholas Georgescu-Roegen*, Milano, Nagard, 1986, 240 p.
- DUVIGNEAUD, Paul *La synthèse écologique. Populations, communautés, écosystèmes, biosphère, noosphère*, Paris, Doin, 1974, 1980 2ª ed., 380 p.
- EGERTON, Frank "Changing concepts of the balance of nature", *Quarterly Review of Biology*, 48, 1973, pp. 322-350.
- EGERTON, Frank "The History of Ecology: achievements and opportunities, part one", *Journal of the History of Biology*, 16, 1983, pp. 259-310.
- EGERTON, Frank "The History of Ecology: achievements and opportunities, part two", *Journal of the History of Biology*, 18, 1985, pp. 103-143.
- EVANS, Francis C. "Ecosystem as the basic unit of ecology", *Science*, 123, 1936, pp. 1127-1128.
- FABER, Malte y John L.R. PROOPS "Interdisciplinary Research Between Economists and Physical Scientists: Retrospect and Prospect", *Kyklos*, 38(4), 1985, pp. 599-616.
- FEDOSEYEV, I.A. "Vernadsky, Vladimir Ivanovich", *Dictionary of Scientific Biography*, 13, 1976, pp. 616-620.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas *Analytical Economics: Issues and Problems*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1966, xvi + 434 p. Traducción francesa, *La science économique: ses problèmes et ses difficultés*, Paris, Dunod, 1970, xiii + 300 p.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas *The Entropy Law and the Economic Process*, Cambridge, Mass., Harvard University Press, 1971, xv + 457 p.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "Bio-economic aspects of entropy" en L. Kubat y J. Zeman, eds., *Entropy and Information in Science and Philosophy*, Praga, Amsterdam, Academia, Elsevier, 1975, 260 p., pp. 125-142.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas *Energy and Economic Myths: Institutional and Analytical Economic Essays*, Nueva York, Pergamon, 1976, xxviii + 380 p.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "Economics and Mankind's Ecological Problem", *U.S. Economic Growth from 1976 to 1986: Prospects, Problems and Patterns*, Vol.7, *The Limits to Growth*, Joint Economic Committee, Congreso de los Estados Unidos, Washington, D.C., U.S. Government Printing Office, 1976, pp. 62-91.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "Matter Matters Too", en K.D. Wilson, ed., *Prospects for Growth: Changing Expectations for the Future*, Edison Electric Institute, Nueva York, Praeger, 1977, xiv + 349 p., pp. 293-313.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "De la science économique à la bioéconomie", *Revue d'économie politique*, 88(3), 1978, pp. 337-382.

- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas *Demain la décroissance: entropie, écologie, économie*, prólogo y traducción a cargo de Ivo Rens y Jacques Grinevald, Lausana, Pierre-Marcel Favre, 1979, 157 p.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "La dégradation entropique et la destinée prométhéenne de la technologie humaine", *Entropie*, número fuera de serie "Thermodynamique et sciences de l'homme", 1982, pp. 76-86. (*Economie appliquée*, 35(1-2), 1982, pp. 1-26).
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "Are There Minds That Think Above Their Time? The Case of Hermann Heinrich Gossen", *Rivista internazionale di scienze economiche e commerciali*, 31(12), 1984, pp. 1141-1161.
- GEORGESCU-ROEGEN, Nicholas "The entropy law and the economic process in retrospect", *Eastern Economic Journal*, 12(1), 1986, pp. 3-23.
- GILLARD, A. "On terminology of biosphere and ecosphere", *Nature*, 223, 1969, pp. 500-501.
- GLACKEN, Clarence J. "Changing ideas of the habitable world", en W.L. Thomas, ed., *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago, University of Chicago Press, 1956, 2 vols., 1193 p., pp. 70-72.
- GOODY, Richard, ed. *Global Change: Impacts on Habitability: A Scientific Basis for Assessment*, NASA, Pasadena, Cal., California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, 1982, 12 p.
- GRINEVALD, Jacques "L'économiste Georgescu-Roegen : intégrer l'économie dans la problématique énergétique et écologique", Ginebra, Service de Presse et d'Information de l'Université de Genève, *Uni-information*, 36, 1974, pp. 28-29.
- GRINEVALD, Jacques "Science et développement: esquisse d'une approche socio-épistémologique", *La pluralité des mondes*, Cahiers de l'IUED, Ginebra, Paris, Presses Universitaires de France, 1, 1975, pp. 31-97.
- GRINEVALD, Jacques "La révolution carnotienne. Thermodynamique, économie et idéologie", *Revue européenne des sciences sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 14(36), 1976, pp. 39-79.
- GRINEVALD, Jacques "Révolution industrielle, technologie de la puissance et révolutions scientifiques", *La fin des outils*, Cahiers de l'IUED, Ginebra, Paris, Presses Universitaires de France, 5, 1977, pp. 147-202.
- GRINEVALD, Jacques "La perspective bioéconomique de Nicholas Georgescu-Roegen", *Questions à la Bioéconomie*, Cahiers du
- GERMES, Paris, 4, 1980, pp. 27-50.
- GRINEVALD, Jacques "Le sens bioéconomique du développement humain: l'affaire Nicholas Georgescu-Roegen", *Revue européenne des sciences sociales et Cahiers Vilfredo Pareto*, 18(51), 1980, pp. 59-75.
- GRINEVALD, Jacques *Le développement et la révolution carnotienne*, COPPE/UFRJ, PDD 03-81, Rio de Janeiro, Universidad Federal do Rio de Janeiro, 1981, 78 p.
- GRINEVALD, Jacques "Energy and Economic Myths, by Nicholas Georgescu-Roegen", *Technology and Culture*, 22, 1981, pp. 655-658.
- GRINEVALD, Jacques "Entropy: A New World View, by J. Rifkin", *Technology and Culture*, 24, 1982, pp. 834-836.
- GRINEVALD, Jacques "La thermodynamique, la révolution industrielle et la révolution carnotienne", *Entropie*, número fuera de serie "Thermodynamique et sciences de l'homme", 1982, pp. 21-28.
- GRINEVALD, Jacques "Nicholas Georgescu-Roegen: un économiste contre les naufrageurs du temps", *CoEvolution*, 7, 1982, pp. 13-18.
- GRINEVALD, Jacques "N. Georgescu-Roegen, Energia e miti economici", *Note economica*, Monte dei Paschi di Siena, 2, 1984, pp. 173-177.
- GRINEVALD, Jacques *The Forgotten Sources of the Concept of Biosphere*, Annual Meeting of the World Council for the Biosphere and joint planning Session with the International Society for Environmental Education, Les Avants-sur-Montreux, Suiza, 18-22 de junio, 1985, 26 p., no publicado.
- GRINEVALD, Jacques "The Biosphere, by V. Vernadsky", *Environmental Conservation*, 13(3), 1986, pp. 285-286.
- GRINEVALD, Jacques "Biosphère et politique internationale: de la guerre froide à l'hiver nucléaire", en Baudouin Jurdant, ed., *Senses of Science/Les sens de la science*, European Association for the Study of Science and Technology, IV Encuentro, 29 sept.-1 oct., 1986, Estrasburgo, Consejo de Europa, GERSULP.
- GRINEVALD, Jacques "Le développement de/dans la biosphère", *L'homme inachevé*, Cahiers de l'IUED, Ginebra, Paris, Presses Universitaires de France, 17, 1987, pp. 29-44.
- GRINEVALD, Jacques "On a Holistic Concept for Deep and Global Ecology: The Biosphere", *Fundamenta Scientiae*, 1987, en prensa.
- GRINEVALD, Jacques *La Biosphère de la planète Terre: origines, évolution et avenir d'un*

- concept holistique*, Informe a ECOROPA, 1987.
- HUTCHINSON, George Evelyn "Bio-Ecology", *Ecology*, 21(2), 1940, pp. 267-268.
- HUTCHINSON, George Evelyn "The biogeochemistry of aluminium and of certain related elements", *Quarterly Review of Biology*, 1943, pp. 1-29, 128-153, 242-262, 331-363.
- HUTCHINSON, George Evelyn "On Living in the Biosphere", *Scientific Monthly*, 67, 1948, pp. 393-398.
- HUTCHINSON, George Evelyn "The biochemistry of the terrestrial atmosphere", en G.P. Kuiper, ed., *The Earth as A Planet*, Chicago, University of Chicago Press, 1954, 751 p., pp. 371-433.
- HUTCHINSON, George Evelyn "The Biosphere or volume in which organisms actually live", en *The Ecological Theatre and the Evolutionary Play*, New Haven, Yale University Press, 1965, xiii + 139 p., pp. 1-26.
- HUTCHINSON, George Evelyn "The Biosphere", *Scientific American*, 223(3), 1970, pp. 45-53.
- HUTCHINSON, T.W. *On revolution and progress in economic knowledge*, Cambridge, Cambridge University Press, 1978, xiv + 349.
- INTERNATIONAL COUNCIL OF SCIENTIFIC UNIONS *The International Geosphere Biosphere Programme: A study of Global Change*, Informe final del Grupo de Proyectos ad hoc, preparado para la 21ª Asamblea General, Berna, 14 al 19 de septiembre, 1986, París, ICSU Press, 4 de agosto, 1986, v + 21 p.
- KAMISHILOV, Mikhail M. *Evolution of the Biosphere*, Moscú, Mir, 1976, 269 p., traducido del ruso.
- KIHGSLAND, Sharon E. "The World Machine", en *Modeling Nature. Episodes in the History of Population Ecology*, Chicago, University of Chicago Press, 1985, 267 p.
- KOYDA, Victor "Contemporary scientific concepts relating to the biosphere", en UNESCO, *Use and Conservation of the Biosphere*, París, Unesco, 1970, 272 p., pp. 13-29.
- KRUT, I.V., I.M. ZABELIN, I.A. FEDOSEYEV "Differentiation and integration of earth sciences in the work of Vernadsky", *Acta historiae rerum naturalium necnon technicarum*, 14, 1981, pp. 397-418.
- LE ROY, Edouard *L'exigence idéaliste et le fait de l'évolution*, París, Boivin, 1927, 270 p.
- LE ROY, Edouard *Les origines humaines et l'évolution de l'intelligence*, París, Boivin, 1928, 337 p.
- LIETH, Helmut y Robert H. WHITTAKER, eds., *Primary Productivity of the Biosphere*, Nueva York, Berlín, Springer-Verlag, "Ecological Studies 14", 1975, vi + 339 p.
- LINDEMAN, Raymond "The trophic-dynamic aspects of ecology", *Ecology*, 23, 1942, pp. 399-418.
- LOTKA, Alfred J. "Note on the economic conversion factors of energy", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 7, 1921, pp. 192-197.
- LOTKA, Alfred J. "Contribution to the energetics of evolution", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8, 1922, pp. 147-151.
- LOTKA, Alfred J. "Natural selection as a physical principle", *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 8, 1922, pp. 151-154.
- LOTKA, Alfred J. *Elements of Physical Biology*, Baltimore, Williams and Wilkins company, 1925, xxx + 460 p. Reeditado como, *Elements of Mathematical Biology*, Nueva York, Dover, 1956.
- LOTKA, Alfred J. "Evolution and Thermodynamics", *Science and Society*, 8, 1944, pp. 161-171.
- LOTKA, Alfred J. "The Law of Evolution As a Maximal Principle", *Human Biology*, 17, 1945, pp. 167-194.
- LOVELOCK, James E. "Gaia as seen through the atmosphere", *Atmospheric Environment*, 6, 1972, pp. 579-580.
- LOVELOCK, James E. y Lynn MARGULIS "Atmospheric homeostasis by and for the biosphere: the Gaia hypothesis", *Tellus*, 26, 1974, pp. 1-10.
- LOVELOCK, J.E. y Sidney EPTON "The Quest for Gaia", *New Scientist*, 6 de febrero, 1975, 65, pp. 304-309. Reimpreso en John Gribbin, ed., *The Breathing Earth, A New Scientist Guide*, Oxford, Basil Blackwell & New Scientist, 1986, pp. 3-10.
- LOVELOCK, James E. *Gaia: A New Look at Life on Earth*, Oxford, Oxford University Press, 1979, 157 p.
- LOVELOCK, James E. "Geophysiology: A New Look at Earth Sciences", *Bulletin of the American Meteorological Society*, 67(4), 1986, pp. 392-397.
- LOVELOCK, James E. "Geophysiology: A New Look at Earth Sciences", en Robert E. Dickinson, ed., *The Geophysiology of Amazonia: Vegetation and Climate Interactions*, United Nations University, Chichester, Wiley, 1986, 526 p.
- LOVELOCK, James E. "Gaia: the World as Li-

- ving Organism", *New Scientist*, 18 de diciembre, 1539, 1986, pp. 25-28.
- MALONE, Thomas F. y Juan G. ROEDERER, eds. *Global Change*. Actas de un Simposium promovido por el ICSU durante su 20ª Asamblea General en Ottawa, Canadá, 25 de septiembre, 1984, Paris, ICSU Press, Cambridge, Cambridge University Press, 1985, xxviii + 512 p.
- MALONE, Thomas F. "Mission to Planet Earth: Integrating studies of global change", *Environment*, 28(8), 1986, pp. 6-11, 39-42.
- MARGALEF, Ramón *La Biosfera entre la termodinámica y el juego*, Barcelona, Ediciones Omega, 1980, 236 p.
- MARGULIS, Lynn y J.E. LOVELOCK "Biological Modulation of the Earth's atmosphere", *Icarus*, 21, 1974, pp. 471-489.
- MARGULIS, Lynn y J.E. LOVELOCK "The atmosphere as circulatory system of the biosphere- the Gaia hypothesis", *The CoEvolution Quarterly*, 6, 1975, pp. 30-40.
- MARTINEZ-ALIER, Juan con Klaus SCHLÜPMANN *Ecological Economics*, Oxford, Basil Blackwell, 1987, 286 p.
- MARVIN, Ursula B. *Continental Drift. The Evolution of a Concept*, Washington, D.C., Smithsonian Institution Press, 1973, 239 p.
- MAUGUIN, Charles "Notice nécrologique sur Vladimir Vernadski", *C.R. des Séances de l'Academie des Sciences*, Paris, 221, 1945, pp. 157-161.
- McEL ROY, Michael, ed. *Global Change: A Biogeochemical Perspective*, NASA, Pasadena, Cal., California Institute of Technology, Jet Propulsion Laboratory, 1983, 33 p.
- MIKULINSKY, S.R. "Sarton and Vernadsky", *Isis*, 75, 1984, pp. 52-62.
- MUELLER, Robert F. *Thermodynamics of Environmental Degradation*, presentado a la reunión anual de la American Geophysical Union, NASA, TM-X-65492, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, Maryland, 1971, 13 p.
- MUELLER, Robert F. *Energy in the Environment and the Second Law of Thermodynamics*, NASA, Doc. x-644-72-130, 1972.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, *Toward an international Geosphere Biosphere Program*. Washington, D.C., National Academy Press, 1983, 81 p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL *Global Change in the Geosphere-Biosphere. Initial Priorities for an IGBP*, Washington, D.C., National Academy Press, 1986, 91 p.
- ODUM, Eugene P. *Fundamentals of Ecology*, Filadelfia, W.B. Saunders Company, 3ª edición, 1971, xiv + 574 p.
- ODUM, Eugene P. "The emergence of ecology as a new integrative discipline", *Science*, 195, 1977, pp. 1289-1293.
- ODUM, Howard T. *Environment, Power and Society*, Nueva York, Wiley-Interscience, 1971, ix + 331 p.
- PASSET, René *L'économie et le vivant*, París, Payot, 1979, 287 p.
- POLUNIN, Nicholas "The Biosphere Today", en N. Polunin, ed., *The Environmental Future*, Actas de la Primera Conferencia Internacional sobre el Futuro del Medioambiente, celebrada en Finlandia desde el 27 de junio al 3 de julio, 1971, Londres, Macmillan, Nueva York, Barnes & Noble, 1972, xiv + 660 p., pp. 33-52.
- POLUNIN, Nicholas "Environmental Education and the Biosphere", *Environmental Conservation*, 7(2), 1980, pp. 89-90.
- POLUNIN, Nicholas "Our global environment and the World Campaign for the Biosphere", *Environmental Conservation*, 9(2), 1982, pp. 115-121.
- POLUNIN, Nicholas "Genesis and Progress of the World Campaign and Council For The Biosphere", *Environmental Conservation*, 11(4), 1984, pp. 293-298.
- POLUNIN, Nicholas "To battle for The Biosphere", en T.N. Veziroglu, ed., *The Biosphere. Problems and Solutions*, Amsterdam, Elsevier, 1984, xv + 712 p., pp. 1-9.
- RAMADE, François *Ecologie des ressources naturelles*, Paris, Masson, 1981, x + 322 p.
- RAMOULIN, Jussi "L'homme et la destruction des ressources naturelles: la Raubwirtschaft au tournant du siècle", *Annales: Economies, Sociétés, Civilisations*, 39(4), 1984, pp. 798-819.
- SAARINEN, Esa, ed. *Conceptual Issues in Ecology*, Dordrecht, Reidel, Pallas paperbacks, 1982, vi + 374 p.
- SERRES, Michel *Hermes. Literature, Science, Philosophy*, editado por Josué V. Harari y David F. Bell, Baltimore, Londres, John Hopkins University Press, 1982, xl + 168 p.
- SINGH, Narindar *Economics and the Crisis of Ecology*, Delhi, Oxford University Press, 1978, xiv + 181 p.
- SUESS, Eduard *Die Entstehung der Alpen*, Viena, W. Braunmüller, 1875, iv + 168 p.
- SUESS, Eduard *Das Antlitz der Erde*, Praga, Viena, Leipzig, F. Tempsky, G. Freytag,

- 1883-1909, -5 vols.. Traducción inglesa, *The Face of the Earth*, Oxford, Clarendon Press, 1904-1924. Traducción francesa, *La Face de la Terre*, Paris, Armand Colin, 1897-1918.
- SUKACHEV, Vladimir N. y N. DYLLIS *Fundamentals of Forest Biogeocoenology*, Edinburgo, Londres, Oliver & Boyd, 1968, viii + 671 p. Edición rusa de 1964.
- TEILHARD DE CHARDIN, Pierre "The Antiquity and World Expansion of Human Culture", en W.L. Thomas, ed., *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, Chicago, University of Chicago Press, 1956, 2 vols., 1193 p., pp. 103-112.
- TEILHARD DE CHARDIN, Pierre *The Future of Man*, Glasgow, Fount Paperbacks, 1977, 332 p. Traducción del francés.
- TOLBA, Mostafa K. y Gilbert F. WHITE "Global Life Support Systems. A. Joint Statement". *UNEP Information*, 47, 1979, pp. 1-4.
- TOLBA, Mostafa K. *Sustainable Development. Constraints and Opportunities*, UNEP, Londres, Butterworths, 1987, 221 p.
- UNESCO *Use and Conservation of the Biosphere*, Paris, Unesco, "Natural Resources Research X", 1970, 272 p.
- VALLENTYNE, John R., J.R. STRICKLER, y N. POLUNIN "Proposal: International Year of The Biosphere", *Environmental Conservation*, 7(1), 1980 p. 2.
- VALLENTYNE, John R. "Toward a Symbol for the World Campaign for The Biosphere", *Environmental Conservation*, 11(4), 1984, pp. 309-312.
- VERNADSKY, Vladimir I. *La Géochimie*, París, Félix Alcan, "Nouvelle collection scientifique", 1924, iv + 404 p.
- VERNADSKY, Vladimir I. "L'autotrophie de l'humanité", *Revue générale des sciences*, 36, 1925, pp. 495-502.
- VERNADSKY, Vladimir I. *La Biosphère*, París, Félix Alcan, "Nouvelle collection scientifique", 1929, xii + 232 p.
- VERNADSKY, Vladimir I. *Geochemie in ausgewählten Kapiteln*, traducido por E. Kordes, Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft, 1930, xii + 370 p.
- VERNADSKY, Vladimir I. "L'étude de la vie et la nouvelle physique", *Revue générale des sciences*, 41, 1930, pp. 695-712.
- VERNADSKY, Vladimir I. *Le problème du temps dans la science contemporaine*, Paris, Doin, 1936, 19 p.
- VERNADSKY, Vladimir I. "Problems of Biogeochemistry, II. The Fundamental Matter-Energy Difference between the Living and the Inert Natural Bodies of the Biosphere", traducido del ruso por George Vernadsky, editado y abreviado por G.E. Hutchinson, *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, 35, 1944, pp. 483-517.
- VERNADSKY, Vladimir I. "The Biosphere and the Noosphere", *American Scientist*, 33, 1945, pp. 1-12.
- VERNADSKY, Vladimir I. *The Chemical Structure of the Biosphere of the Earth and its Environment*, editado en ruso por V.I. Baranov de la Academia de Ciencias de la URSS, Instituto V.I. Vernadsky de Geoquímica y Química Analítica. La traducción inglesa es de David B. Langmuir, no publicado, comunicación personal.
- VINOGRADOV, Alexander P. "Centenary of the birth of V.I. Vernadsky", *Geochemistry*, 3, 1963, pp. 211-213.
- VINOGRADOV, Alexander P. "The development of V.I. Vernadsky's ideas", *Soviet Soil Science*, 8, 1963, pp. 727-732.
- WEINER, Douglas R. "The Historical Origins of Soviet Environmentalism", *Environmental Review*, 1982, pp. 42-62.
- WEINER, Douglas R. "Community Ecology in Stalin's Russia. 'Socialist' and 'Bourgeois' Science", *Isis*, 75(279), 1984, pp. 684-696.
- WEINER, Jonathan *Planet Earth*, Nueva York, Bantam Books, 1986, xiv + 370 p.
- WHITE, Gilbert F. "Environment", *Science*, 209, 1980, pp. 183-190.
- WHITE, Gilbert F. "SCOPE: The First Sixteen Years", *Environmental Conservation*, 14(1), 1987, pp. 7-13.
- WILSON, J. Tuzo "Static or mobile Earth: the current scientific revolution", *Proceedings of the American Philosophical Society*, 112, 1968, pp. 309-320.
- WILSON, J. Tuzo "A revolution in earth sciences", *Geotimes*, 13(10), 1968, pp. 10-17.
- WILSON, J. Tuzo *Continents Adrift and Continental Aground*, Readings from Scientific American, San Francisco, Freeman, 1976, vii + 230 p.
- WILSON, J. Tuzo "Overdue: another scientific revolution", *Nature*, 265, 1977, pp. 196-197.
- WORLD COMMISSION ON ENVIRONMENT AND DEVELOPMENT *Our Common Future*, Oxford, Oxford University Press, 1987, xv + 383 p.
- WORSTER, Donald *Nature's Economy. The Roots of Ecology*, San Francisco, Sierra Club Books, 1977, xii + 404 p. (Cambridge University Press, 1985, 2.ª edición.)