

La presente edición de *La Biosfera* de Vernadsky encaja plenamente en el propósito de la serie «Textos básicos» de la Colección «Economía y Naturaleza» de informar los trabajos pioneros de autores que trataron de conectar economía y naturaleza sin que su esfuerzo intelectual fuera debidamente apreciado en su momento, ni divulgado en el mundo de la edición. El mero hecho de que esta sea la primera edición en castellano de una obra que había visto la luz en ruso y en francés, hace ya más de medio siglo, evidencia el vacío indicado. Sobre todo, cuando el libro pionero de Vernadsky *La biosfera* (1926) desempeñó un papel de primer orden a la hora de historiar cómo se acuñó la noción de *biosfera*, como objeto de reflexión sistémica y encrucijada de saberes parcelarios, y cuando tampoco encontró en su momento el eco que merecía su carácter innovador en el terreno científico. Pero más allá de la pertenencia de su autor a un período histórico determinado (último tercio del siglo XIX-primer mitad del XX), la presente obra sigue brindando a quienes están interesados en superar el actual oscurantismo de las especialidades científicas la posibilidad de beneficiarse del «enorme valor formativo de sus razonamientos y aun de sus intuiciones» (R. Margalef).

La noción de *biosfera* desempeña un papel fundamental en la conexión entre economía y ciencias de la naturaleza, al extender la reflexión sistémica al *oikos* planetario, frente al de los Estados, empresas y hogares, desde el que viene razonando la economía ordinaria. Profundizar en la forma en que se gestó esta noción, a través del mensaje de su principal formulador, resulta sugerente desde muchos puntos de vista, incluido el de facilitar un mejor entendimiento entre las dos disciplinas que razonan sobre cada uno de los dos *oikos* antes mencionados: la economía y la ecología. Se trata, en suma, de avanzar en la línea de pensamiento abierto y transdisciplinar que esta Colección se ha propuesto desbrozar. A ello espera contribuir la presente edición, notablemente enriquecida con el estudio preliminar, elaborado por el ecólogo Ramón Margalef, y la cronología bio-bibliográfica sobre Vernadsky, realizada por el historiador de la ciencia Jacques Grinevald.

ISBN 84-7774-979-5



9 788477 749790

9

Vladimir I. Vernadsky

La Biosfera



ECONOMÍA Y NATURALEZA

# La Biosfera

Vladimir I. Vernadsky

Introducción de Ramón Margalef

FUNDACION  
ARGENTARIA



VISOR  
(dis., s.a.)

VLADIMIR I. VERNADSKY

## LA BIOSFERA

INTRODUCCIÓN DE RAMÓN MARGALEF

COLECCIÓN

ECONOMÍA Y NATURALEZA

SERIE «TEXTOS BÁSICOS»

VLADIMIR I. VERNADSKY

# LA BIOSFERA

FUNDACION  
**ARGENTARIA**



**VISOR**  
(dis., S.A.)

Colección «Economía y Naturaleza», vol. IX  
Serie «Textos Básicos»

Comité Científico

- Federico Aguilera Klink
- Carlos Castrodeza Ruiz
- Luis Gutiérrez Andrés (secretario)
- Joan Martínez Aliet
- José Manuel Naredo Pérez (director)
- Fernando Parra Supervia
- Antonio Valero Capilla

Traducción: María Victoria López Paños

Luis Gutiérrez Andrés («La biosfera y la noosfera» y «Cronología»)

Revisión: J. M. Naredo y L. Gutiérrez

Diseño portada: Aitor Méndez y Raquel de la Fuente

© Fundación Argentina - Visor Dis., 1997

ISBN: 84-7774-979-5

Depósito Legal: M-38.156-1997

Visor Fotocomposición

Impreso en España - Printed in Spain  
Gráficas Rógar, Navalcarnero (Madrid)

## ÍNDICE

INTRODUCCIÓN. <i>Ramón Margalef</i> .....	9
CRONOLOGÍA BIO-BIBLIOGRÁFICA DE V. I. VER- NADSKY. <i>Jacques Grinevald</i> .....	19
- Biografía .....	21
- Bibliografía .....	39
LA BIOSFERA .....	43
- Prólogo a la edición francesa .....	45
- Prólogo a la edición rusa .....	47
PRIMERA PARTE. LA BIOSFERA EN EL COSMOS .....	51
- La Biosfera en el medio cósmico .....	53
- La Biosfera como región donde se transforma la energía cósmica .....	60
- Generalización empírica e hipótesis .....	64
- La materia viva en la Biosfera .....	69
- La multiplicación de los organismos y la energía geoquímica de la materia viva .....	74
- La materia viva verde .....	91
- Algunas observaciones sobre la materia viva en el mecanismo de la Biosfera .....	106
SEGUNDA PARTE. EL CAMPO DE LA VIDA .....	111
- La Biosfera, envoltura terrestre .....	113
- La materia viva de primer y segundo orden en la Biosfera .....	128
- Los límites de la vida .....	140
- Los límites de la vida en la Biosfera .....	145
- La vida en la Hidrosfera .....	155
- Ciclos geoquímicos de las concentraciones y películas vitales de la Hidrosfera .....	164
- La materia viva en tierra firme .....	173

- Conexión entre las películas y las concentraciones vitales de la Hidrosfera con las de la tierra firme .....	179
APÉNDICE. La evolución de las especies y la materia viva .....	183
LA BIOSFERA Y LA NOOSFERA .....	203
- La Biosfera .....	205
- La Noosfera .....	210

## INTRODUCCIÓN

Ramón Margalef  
 Universidad de Barcelona

La palabra biosfera ha pasado a ser de uso corriente para referirse a la porción de nuestro planeta habitada por seres vivos y manifestamente organizada por ellos. Coincide con la parte sólida superficial, que sirve de soporte y, a la vez, está arrastrada, aunque sea parcialmente, en la dinámica de la vida, más las envolturas líquida y gaseosa cuya composición no se entiende si no es a través de la actividad de la propia vida. Según el propio Vernadsky, la voz biosfera habría sido usada ya por Lamarck, a comienzos del siglo XIX, aunque su difusión viene más propiamente después de su empleo por el geólogo austríaco Eduard Suess (1831-1914) en su obra *Die Entstehung der Alpen* (1875) y, posteriormente, en su gran libro *Das Antlitz der Erde*, del que hay una edición española, publicada dentro del presente siglo, bajo el título *La faz de la Tierra* (Madrid, 3 vol. 1923-1928). Como todos los humanos, los geólogos son parte de la biosfera y además ésta les ha proporcionado los fósiles, que son un elemento esencial en su trabajo. Al parecer, Suess no manifiesta mayor interés por el tema que el asociable al deseo de caracterizar la condición peculiar que caracteriza a una buena parte de los lugares de encuentro entre una litosfera sólida, una hidrosfera líquida y una atmósfera gaseosa. No es un estrato más, sino el resultado de una especial actividad dinámica que informa progresivamente la promesa de un mundo nuevo. Esta sería una interpretación probablemente correcta del punto de vista de Vernadsky, cuya formación era básicamente química (y mineralógica). En 1926 produce este libro que titula *La Biosfera*, muy consciente de que maneja un punto de vista relativamente sintetizador que no es común, aunque usa y trata de combinar materiales proporcionados por distintas ramas de la ciencia natural.

Este punto de vista, por razones más bien psicológicas, pudo interesar más a unos cultivadores de la ciencias de la Naturaleza que a otros. Pero los tiempos cambian y ahora, con la conciencia del carácter global de muchos problemas ambientales, la noción de biosfera puede resultar más popular y aun experimenta el riesgo de trivializarse excesivamente. Esta puede ser una buena razón que justifique la elección de este libro para su traducción al español. Claro que, al ritmo que ha ido la producción cientí-

fica en su área, el contenido descriptivo y experimental de su texto se cae ahora de puro viejo, aunque el punto de vista permanece sorprendentemente fresco y puede servir incluso de correctivo a muchas de las divagaciones al uso en los medios de difusión. Se supone que al lector actual le va a interesar más la filosofía de fondo que cualquier información métrica o experimental, que puede resultar ya anticuada, y más contando con el ritmo vivacísimo al que avanza la obtención de datos sobre el ambiente global. Tampoco puede decirse que *La Biosfera* fuera revolucionaria en su día, lo cual da razón de que el mérito se le ha reconocido más tarde. En su día apenas causó impacto apreciable. Y es silenciado en la mayor parte de los libros de tema ecológico que se publicaron en la misma década y en la inmediata posterior. Sin embargo, actualmente el término biosfera se prodiga dentro del campo de la ecología.

Con o sin nombre especial, el ámbito de conocimiento que hoy se conoce como ecología había experimentado un considerable desarrollo a partir de mediados del siglo pasado; Darwin es autor de libros de contenido propiamente ecológico, como los que tratan de las lombrices de tierra, o de las plantas carnívoras. Recordemos, además, que ya se habían publicado en Europa, entre otras, obras tan genuinamente de ecología como *Das Pflanzenleben der Alpen*, de C. Schröter (1923-26), *Grunntzük af den ökologiska Plantengeografi*, de Warming (1895), y *Tiergeographie auf oekologischer Grundlage*, de Hesse (1924).

Sería injusto no reconocer que *La Biosphère* de Vernadskij o Vernadsky, escrita originalmente en ruso y mejor conocida en su edición francesa publicada por la editorial Félix Alcan, en 1929, plantea por primera vez la posibilidad de una visión planetaria que, naturalmente, pide un punto de vista más funcional que descriptivo. Es el punto de vista que tiende a coincidir con el que informa numerosas organizaciones y proyectos internacionales que ahora se preocupan y ocupan del llamado cambio global, en el sentido de estudiar la respuesta de nuestro planeta como una entidad unificada, tal como se expresa especialmente en la distribución y actividades de los organismos, y a su respuesta a los cambios de todo tipo, muchos de ellos generados por las actividades humanas o consecuencia indirecta de las mismas. Ciencia biosférica vendría a ser, por tanto, un sinónimo de ecología global.

Es inevitable que las tendencias actuales en la ecología, tal como se manifiestan en la presentación de los resultados de los estudios, aparezcan muy regidas o influidas, de una parte, por diversas propagandas y, por otra, por la disponibilidad de tecnologías apropiadas, a veces generadas contemporáneamente para cubrir necesidades reales o ficticias, por ejemplo en relación con la industria o con proyectos militares. Entre los méritos de Vernadsky, está el de que no necesita hablar de ecología, quizá por lo que queda implícito que la ecología de su tiempo era más una anatomía

que una fisiología de la biosfera. Y, por otra parte, la función más aparente de la cubierta viva del planeta, como máquina que extrae organización de una inevitable degradación entrópica de la energía que en dicha región acontece, ya queda de manifiesto, como me señala el Dr. Martínez Alier, en otra obra anterior del propio Vernadsky, *La Géochimie*, según la edición francesa de Félix Alcan, de 1924. Y conviene recordar que esta visión precede en bastantes años a la formulación de Schrödinger en *What is life* (1944) la cual valió a su autor un rapapolvo de Linus Pauling, en una obra publicada precisamente para honrar el centenario del nacimiento del propio Schrödinger (*Schrödinger, Centenary celebration of a polymath*, edit. C. W. Kilmister, Cambridge Univ. Press, pp. 225-233).

El punto de vista que introduce la noción de biosfera viene a proponer una aproximación que, en el límite, nos llevaría a reconocer en la biosfera entera los rasgos esenciales de un organismo o a considerarla como un «superorganismo». Este punto de vista nos conduce a una manera de ver que es hoy frecuente, y que se asocia a un nivel divulgativo con el nombre de Gaia, por la diosa o personificación de la Tierra (o Gea, que es lo mismo, cuya grafía se reencuentra en Geo-logía). Aunque los datos que maneja Vernadsky pueden haber quedado anticuados, su manera de enunciar las generalidades suscita cuestiones de indudable actualidad y anticipa la visión global de la biosfera como una entidad funcional unificada, con las propiedades y capacidades sintéticas que ahora se propugnan y compendian bajo la indicada imagen de Gaia, en una forma divulgada principalmente por J. E. Lovelock (1982. *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford Univ. Press) y sus seguidores. A semejante visión unificada pertenecen las nociones de «cambio global», aunque el uso frecuente de esta y otras nociones semejantes no presupone una adhesión formal a la noción de entidad más o menos perfectamente unificada desde el punto de vista funcional.

Otro texto posterior (1945) y complementario de Vernadsky, que se incluye en este mismo volumen, contribuye a poner al día su presentación inicial y lleva la idea de síntesis un poco más allá, hasta incluir el desarrollo de actividades mentales y espirituales, en relación con las cuales habla de noosfera. Es posible ver detrás de todo esto influencias filosóficas, que se pueden buscar desde Hegel y con posibles contribuciones de Spencer, con la meta quizá en una sociedad socialista perfectible para Vernadsky, o en la sociedad cristiana (Cristo en el mundo) para el padre Teilhard de Chardin.

Hutchinson, en un artículo titulado «The Biosphere», que encabeza un número de *Scientific American* (vol. 223, n.º 3, pp. 45-53. 1970)<sup>1</sup>, consi-

<sup>1</sup> El número especial ha sido editado en español bajo el título *La biosfera*, Madrid: Alianza Editorial, 1972.

dera a Vernadsky como fundador de la biogeoquímica moderna, y lo caracteriza como un ruso liberal que creció en el siglo XIX, que aceptó la Revolución Rusa, que hizo una gran parte de su labor después de 1918, aunque según Hutchinson, sus numerosas referencias filosóficas lo sitúan lejos del marxismo. En realidad, Marx, en lo concerniente a aspectos menos directamente relacionados con la problemática social, recibe una indudable influencia de Darwin, en relación con la selección natural, tanto de organismos como de artefactos —y este es un aspecto interesante—, a la que quiso corresponder, en vano, porque, por lo que se lee, parece que Darwin ni siquiera se dignó cortar las páginas de *El Capital*. Este libro contiene alusiones que se reconocen como muy acertadas en relación con el mecanicismo de la selección, que opera sobre artefactos producidos en serie por el hombre y otros temas en los que Marx seguramente reconoció la idoneidad de la teoría de la evolución por selección natural.

Según la publicación de Hutchinson citada antes, Vernadsky, antes de su muerte ocurrida el 6 de enero de 1945, escribió a su amigo y antiguo discípulo Alexander Petrunkevitch en los siguientes términos: «Veo el futuro con optimismo. Pienso que estamos experimentando un cambio no sólo histórico, mas también planetario. Vivimos una transición que nos ha de llevar a la noosfera». A este concepto volveremos. Hutchinson no puede dejar de notar que los años transcurridos desde que tales palabras se escribieron han servido sólo para demostrar cuán irracionales han sido las tensiones que la humanidad ha infligido a la biosfera. Sin embargo, añade que sería la única alternativa a lo que puede abreviar la existencia de la humanidad quizá por millones de años.

G. Evelyn Hutchinson, en su libro autobiográfico *The Kindly Fruits of the Earth* (Yale Univ. Press. New Haven y Londres, 1979), señala los hilos que la relación con nuestro Vernadsky, y que pasan a través del estudio de los arácnidos, fósiles y vivientes, «Petes» Petrunkevitch, que llegó a Norteamérica en 1903 y que a partir de 1919 fue profesor en la Universidad de Yale. Este Petrunkevitch había trabajado en la Universidad de Moscú con V. I. Vernadsky y el propio hijo de éste, George Vernadsky, un eminente estudioso de la historia de Rusia, que emigró y formó también parte de la facultad de Yale. Refiere Hutchinson que Petrunkevitch, cuando era estudiante, estuvo a punto de perecer junto con nuestro V. I. Vernadsky, mientras eran conducidos hacia las profundidades de una mina para estudiar un depósito mineral. Un obrero anarquista, pensando que era una buena oportunidad para liquidar a un oficial, cortó el cable de la jaula. Afortunadamente, la jaula quedó encallada de manera que sus ocupantes pudieron salir sin más daño. Hutchinson refiere que, a través de Petrunkevitch y de Vernadsky hijo, se interesó mucho por las ideas de Vladimir Vernadsky en lo que se refiere a la presencia y contenido en los organismos de elementos químicos menos estudiados. Y posiblemente la

influencia se extiende a los propios alumnos de Hutchinson, por ejemplo, a la visión expresada por Raymond Lindeman en relación con la termodinámica de los ecosistemas, y que causaron considerables sinsabores a mentor y doctorando. El interés de Hutchinson por Vernadsky queda de manifiesto en la introducción editorial del artículo «The Biosphere and the Noosphere», de 1945, publicado pocos días después del fallecimiento de V. I. Vernadsky el 6 de enero de 1945.

La ampliación de cualquier visión global a otros dominios de la ciencia o de la filosofía, en el sentido se superponer, al considerar la evolución del mundo físico, una nueva esfera en la que podrían tener cabida la mente, la inteligencia o el espíritu, era casi de prever y tampoco puede extrañar que entre sus paladines se hallen los que creían descubrir una orientación más manifestamente espiritual en los términos avanzados de la evolución, en el sentido que adopta el filósofo francés Henri Bergson (1859-1941) y el también francés y paleontólogo Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955), jesuita que fue considerado un tanto heterodoxo por sus correligionarios y cuyas ideas alcanzaron considerable difusión en España, señaladamente a través del también paleontólogo Miguel Crusafont, del Museo de Sabadell.

Es indudable que el renacimiento interés por esta visión global de la Tierra, conseguida superponiendo esferas sucesivas, posee un atractivo especial para cierto grupo de público. Ahora el foco de tal interés se centra en Gaia y creo que el mismo colectivo puede ser especialmente sensible a los escritos de Vernadsky, que son un anticipo de otros textos más recientes, como los producidos por varios autores, entre ellos Lovelock, y editados por M. B. Randles, L. Margulis y R. Fester: 1989. *Global Ecology: Towards a Science of the Biosphere*. Academic Press. 204 pp., o Jacques Grinevald: «Lipotési Gaia: una geofisiología de la Biosfera», en *3º milenio*, 1997, 7, pp. 4-15. O, también, ¿por qué no?, la serie editada por Enciclopedia Catalana, bajo el título de *Biosfera*, con el patrocinio, por lo menos moral, de UNESCO y en cuyo primer volumen, aparecido en 1993, se incluye lo que puede interpretarse como una visión global de la Biosfera o de Gaia, si se quiere. Lynn Margulis es bien conocida en España en relación con estos temas, y colaboró extensamente en la sección sobre «el pasado de la biosfera» del volumen que se acaba de mencionar. En esta misma obra se rinde el debido homenaje a la memoria de nuestro autor, cuya fotografía se incluye en el texto (vol. 1, p. 161). Tanto Vernadsky como Lovelock han podido servir como punto de partida para extrapolaciones menos fundamentadas, de las que ellos no son responsables, porque ambos, como científicos serios, jamás han abandonado terreno firme.

De hecho, ambos encuentran una buena base en el hecho de que la vida, al separar oxígeno libre en la corteza terrestre, bajo la acción de la luz, genera al mismo tiempo ozono y protege así a la biosfera de las nocivas radiaciones de onda corta que nos vienen en todas las direcciones del

Universo. «La pantalla de ozono», a que se refiere Vernadsky en la edición que presentamos, es ahora tema de actualidad. Con R. Mayer, Vernadsky dice que la hulla consiste en rayos solares fósiles, aunque no se extiende más hacia un desarrollo del concepto de energía exosomática, o energía auxiliar utilizada en cantidad creciente por la humanidad actual. Es correcta su opinión de que la migración biógena de elementos químicos se ha acelerado después de la aparición de la humanidad, y especialmente a partir de hace unos 10.000 años: «La evolución de las especies que conduce a la creación de nuevas formas de vida estables debe moverse en el sentido de aumentar la migración biógena de los átomos en la biosfera» y acepta «el papel acelerador que sobre tal flujo tiene la humanidad civilizada».

Pero, aunque pudo conocer sus actividades, no tiene ocasión de hablar de otros científicos que, también en Europa Oriental, se habían preocupado, desde mucho antes, por la energética humana dentro de la Naturaleza (Podolinsky y otros; véase *Los principios de la Economía Ecológica*, editado por Joan Martínez Alier, en esta misma colección, 172 páginas, 1995).

El artículo ya mencionado, publicado en Estados Unidos en 1945 y que complementa esta edición, es de lectura obligada, como posterior, más meditado y que expresa muy atinadamente algunas relaciones y evaluaciones que fueron presentadas de manera menos precisa en el texto original, y que son importantes para seguir el pensamiento del autor. Dicho artículo es interesante también porque nos ha dado ocasión de precisar la vía de migración de las ideas de Vernadsky, que pasa por Estados Unidos y, concretamente, por la Yale University de New Haven.

El deseo de Vernadsky de hacer evaluaciones y balances globales tiene rasgos muy modernos, incluso cuando usa cifras que ahora aparecen muy dudosas, imprecisión que, en su caso, tiene mayor disculpa que muchos ejemplos, en la literatura reciente, de falta de crítica en evaluaciones y en predicciones. Uno se siente fácilmente tentado a añadir diversos comentarios. Vernadsky propone un índice foliar (ahora más corrientemente designado por LAI), aunque suma ambas superficies, el haz y el envés de cada hoja separadamente. La superficie de las hojas en bosques y prados es varias decenas de veces mayor que la de las «plantaciones» (interpretable como la superficie del suelo sobre la que se extiende la vegetación); da valores muy altos para cultivos herbáceos, para un hayedo señala 7,7, que correspondería al índice foliar en su expresión actual (LAI) de 3,75, un valor bien aceptable.

Era casi de prever que su estimación de la sección del espectro luminoso usable en la fotosíntesis quedaría excesivamente centrada sobre el rojo, sin extenderla suficientemente hacia segmentos de onda más corta. A partir de los pocos datos que encuentra a su disposición, le parece que

puede anticipar que el estudio de los isótopos no va a decir grandes cosas. En esto se equivocó totalmente, a pesar de la ventaja que hubiera podido darle su condición de químico.

Su intento de construir balances globales es justificable y en algunas de sus estimaciones se muestra correctamente cauteloso y crítico, por ejemplo, al proponer que la masa de materia viva se ha debido mantener aproximadamente constante a través de las diversas eras geológicas. Las cifras que propone, sin embargo, pueden pecar de exageradas, por lo menos si damos fe a las estimaciones que recientemente se manejan. Claro que sigue siendo muy difícil hacer valoraciones fiables de la cantidad de carbono orgánico que persiste en suelos y en aguas.

Es natural que, por su formación y por la época en que escribe, haya muchos párrafos poco de acuerdo con interpretaciones más recientes. Exagera ciertamente la importancia de muchos fenómenos, extrapolando o multiplicando. No se puede decir que una hembra de termes ponga 86.400 huevos en 24 horas con la regularidad de un reloj. Son exageradas sus afirmaciones relativas al poder de multiplicación y ocupación del espacio por las bacterias, aunque admite que su número no podrá rebasar el número de moléculas con las que están relacionadas; pero las puede imaginar multiplicándose y cubriendo los mares primitivos, en forma de una mancha cuyo borde avanzaría a la velocidad de 330 metros por segundo, que, escribe, se podría considerar como la velocidad de transmisión de la vida. Claro que ciertas estimaciones de autores recientes en lo que concierne a la actividad de los más pequeños organismos en el mar siguen siendo exageradas, a pesar de que hace tiempo se hizo notar que si la actividad estimada como posible —en cultivos— de las bacterias contadas fuera real, pronto se agotaría totalmente el oxígeno de las aguas profundas oceánicas. Los cálculos de la producción total pueden pecar de ingenuos, al admitir que la productividad por unidad de superficie sería sensiblemente igual para el mar y para los continentes. (Sabemos que los continentes son unas tres veces más productivos, por unidad de superficie, que el mar, y que los océanos son definitivamente heterotróficos.) Tampoco se le puede criticar en relación con el fósforo, porque el ciclo de este elemento sigue siendo poco estudiado en relación con su interés, como Vernadsky acertadamente destaca.

Dice que la vida se había considerado desde el punto de vista geométrico, es decir, de la forma, pero que ahora hay que ser preciso, hay que cuantificar y valorizar el punto de vista aritmético, como anticipando el auge de la aproximación cuantitativa que caracteriza la ecología moderna. Pone énfasis en su intento de no hacer uso del concepto de vida, que dice pertenece al reino de la filosofía, del folklore y de la religión, y no va más allá del concepto de materia viva, que es el que prefiere. Y sigue: «En el transcurso del tiempo geológico, la materia viva cambia morfológica-



mente, de acuerdo con las leyes de la Naturaleza. Su historia se expresa en la lenta modificación de las formas de los organismos vivos que genéticamente se encuentran conectados de forma ininterrumpida, generación tras generación. Esta idea fue fermentando hasta que adquirió una base sólida gracias a los grandes logros de Darwin (1809-1882) y Wallace (1822-1913). Es un proceso histórico característico de la materia viva. no existiendo manifestación alguna semejante en la materia inerte». En atención a la función geológica de la humanidad, el geólogo Pavlov (1854-1929) hablaba de era antropogénica, «aunque no tuvo en cuenta la posibilidad de la destrucción de los valores espirituales a que asistimos actualmente con la bábara invasión de los alemanes y sus aliados». Señala que la posibilidad de «una dirección categórica del proceso evolutivo» es un tema ya antiguo (Buffon, Agassiz, etc.). Pero estos y otros aspectos de la dinámica del cambio se hallan sometidos a continua revisión y seguramente se genera confusión entre unas nociones aplicables a la evolución biológica y otras derivadas de la interpretación de los cambios sociales. Recientemente se manifiesta notable dispersión en las maneras de considerar el tema del «progreso», y la caída del régimen comunista en Rusia ha influido probablemente en que algunos autores se orienten más hacia postular un tipo de cambio histórico global no necesariamente relacionable con una noción muy humana de progreso, que ahora entraría en un serio proceso de revisión o de descrédito. Pero esto ya queda fuera de los límites temporales de nuestro autor, que murió en 1945.

No hay para qué pretender seguir enmendando la plana a Vernadsky una y otra vez, porque es seguro que muchas de las afirmaciones discutibles corresponden a temas especializados o a disquisiciones de especialistas y apenas pueden interesar al lector corriente, que no necesita gran precisión para ser consciente del valor permanente del mensaje de Vernadsky, que pasa un poco por fuera, o mejor dicho, por encima, de lo que sería propio de un tratado universitario de Ecología. Y quede claro que su autor es acreedor a la máxima atención y aprecio, precisamente porque apunta a un nivel intelectual que suele exceder o quedar por fuera del conocimiento profesional. Éste, más a ras del suelo, puede ser necesario para desarrollar modelos explicativos aceptablemente correctos o, simplemente, para tomar decisiones en lo que atañe a una parte de nuestros cotidianos problemas ambientales.

¿Qué opinión general podemos formarnos, pues de este libro? Es un libro de su época, que podría considerarse como considerablemente obsoleto en el detalle, dado el ritmo vivacísimo que ha seguido la investigación biológica en general y la ecológica en particular. Pero, a la vez, es prueba del origen y de la persistencia de inquietudes que ahora nos pueden parecer tradicionales, y de lo mucho que falta todavía para tener una idea satisfactoria y plenamente utilizable del funcionamiento global de nuestro pla-

neta. No debemos buscar ahora en este libro de Vernadsky datos que sean válidos en su detalle. También hay que reconocer que la ciencia ecológica presente sigue arrastrando un gran número de interrogantes y muchas verdades a medias. La vida cotidiana requiere un esfuerzo continuo de recordamiento, interpretación y hallazgo de soluciones, que presupone conocimientos correctos del estado actual de la ciencia. La información que se posee es abundante, aunque siempre parecerá insuficiente. El sentido común del científico, que informa la ciencia, resulta indispensable y a la educación del mismo puede contribuir este texto.

Precisamente, en el texto complementario posterior, que casi se podría considerar como un testamento, Vernadsky se muestra más circunspeto y acertado, y confronta ciertas ideas generalmente difundidas con las suyas propias. Algunas de sus afirmaciones estimulan y merecen una breve reflexión: ve en la vida la unidad funcional y la capacidad reproductora, con una relación de dependencia respecto de la corteza terrestre. La química de la vida se distingue por un gran número de diferentes moléculas, con muchos enantiomorfos (predominantemente levógiros), unidad funcional y capacidad reproductora y sistemas nerviosos que han aumentado significativamente su influencia hasta los tiempos geológicos más recientes.

Su texto contiene aseveraciones o intuiciones profundas: No hay cuerpos vivos plenamente líquidos o gaseosos. La capa superficial de la Tierra sólida o líquida refleja todo el cosmos. La masa de materia viva es la dimensión de la biosfera y ha permanecido aproximadamente constante. Acepta que el tamaño de los cuerpos vivientes independientes queda limitado por la respiración y se extiende entre  $10^{-2}$   $\mu\text{m}$  y 100 m. La diferencia cubre un rango de  $10^{10}$ , que considera moderado. La composición de los organismos es función de sus propiedades y la de los cuerpos inertes es función de las propiedades del medio. Los procesos que se realizan en la biosfera tienden a aumentar la energía libre; los procesos inertes, salvo la desintegración radiactiva, reducen la energía libre. La composición química de los cuerpos vivos, aunque no muestra relaciones exactas y constantes, está determinada de manera definida y a pesar de todo se manifiesta más constante que la de las mezclas isomórficas que constituyen los minerales naturales. Las relaciones isotópicas pueden estar sensiblemente modificadas por la vida, aunque aquí Vernadsky no acierta cuando supone que las relaciones isotópicas no varían en forma apreciable en los cuerpos inertes naturales presentes en la biosfera, pues precisamente el análisis isotópico de estos materiales ha hecho progresar hasta un nivel asombroso la capacidad de reconstruir las condiciones del entorno en el pasado.

Los cuerpos vivos naturales modifican sus formas a tasas muy diferentes, a lo largo del proceso evolutivo, mientras que los cuerpos inertes son estables y carecen de variedad. Los procesos que se realizan en los cuerpos vivos *no son temporalmente reversibles* (una observación muy importante)

mientras que en los cuerpos inertes naturales sí son reversibles en relación con el tiempo.

Algunos de los comentarios concernientes a la natural y obvia pérdida de actualidad de buena parte de los escritos de Vernadsky y a que el valor de los mismos no va mucho más allá del simplemente histórico no significan dejar de reconocer el enorme valor formativo de sus razonamientos y aun de sus intuiciones. Siempre educa leer o releer los textos de los que nos precedieron, aunque sea, como en este caso, con excesivo retraso. Si esto se puede considerar como una crítica, aplíquese especialmente hacia lo retrasado y lo menguado del interés de nuestro presente espacio cultural por todo lo científico. Alrededor de 1930, desde pocos años antes a pocos después, se editaban en España (principalmente por Espasa Calpe, Labor, Revista de Occidente) traducciones muy correctas de libros científicos que en el momento eran de actualidad, y recuerdo especialmente muchos textos de física y de biología. Me parece una deficiencia considerable de la época que estamos atravesando que aquella política de traducciones se haya olvidado. Por supuesto no vale argumentar que la bazofia «cultural» que suele predominar en los medios de difusión actuales puede reemplazar de manera efectiva un contacto más directo con las mentes creadoras de cada época. Tampoco es de recibo la excusa de que ahora todos sabemos o debemos saber inglés y que, además, estamos en condiciones de ampliar, de manera fantástica, la recepción de información. Es posible que las inteligencias se amamenten ahora en Internet, en la que yo ya no me siento capaz de abrevarme. A pesar de todos los avances de la informática, aún quedamos algunos a los que nos gusta dejar trabajar a la imaginación propia con el estímulo de un buen libro sobre las rodillas. Y ciertamente no lamentamos que, también por razón de edad, pueda sentir mayor simpatía por el condicionamiento y las limitaciones que rodean a Vernadsky de la que probablemente desarrollarán sus lectores. Que su lectura les mueva a reflexión sobre la historia de las ideas, los conflictos que nos traen los tiempos y, sobre todo, las influencias recíprocas que puede haber y que conviene propiciar entre las «dos culturas».

## CRONOLOGÍA BIO-BIBLIOGRÁFICA DE V. I. VERNADSKY

Jacques Grinevald  
Universidad de Ginebra

## Biografía

1863

Viene al mundo el 12 de marzo (28 de febrero del calendario juliano) en San Petersburgo, en el seno de una familia acomodada y liberal del Imperio zarista.

1868

La familia se instala en Jarkov, Ucrania, y realiza frecuentes viajes al extranjero.

1873

Ingresa en el Liceo de Jarkov. Recibe una profunda influencia de su tío, el conde M. Korolenko (1810-80), autodidacta enciclopedista y amante de la Naturaleza; más tarde, Vernadsky recordará que le gustaba decir «La Tierra es un ser vivo».

1876

Regreso de la familia a San Petersburgo. El padre, Ivan Vasilievich Vernadsky (nacido en Kiev en 1821), intelectual reformista, amigo de Tolstoi y profesor de economía política educado en Occidente, se mostró muy activo en el movimiento liberal, especialmente en su calidad de propietario de una librería y de una editorial. A lo largo de toda su vida, Vernadsky será un gran lector, prácticamente en todas las lenguas europeas, tanto en los campos de la filosofía, del arte, de la religión, de la historia y de la literatura, como en los de las ciencias y de la historia natural. A muy temprana edad, había leído ya en su idioma original a los grandes naturalistas, como Darwin y A. von Humboldt.

1881

Se matricula en la Facultad de Física y de Matemáticas (Departamento de Ciencias Naturales) de la Universidad de San Petersburgo. Es alumno de eminentes profesores, como los grandes químicos Dimitri Mendeleiev (1834-1907) y Alexander Butlerov (1828-1886), así como del geógrafo Vasili Vasilievitch Dokuchaev (1846-1903), profesor de mineralogía y cristalografía, fundador de la edafología o ciencia de los suelos. Dokuchaev

fue el padre de una extensa escuela naturalista que marcó el desarrollo del moderno pensamiento ecologista, destacando especialmente S. N. Vinogradsky (1856-1946), V. Agafonov (1863-1955), G. F. Morozov (1867-1920), K. D. Glinka (1867-1927), B. B. Polynov (1867-1953). L. S. Berg (1876-1950) y V. Vernadsky («el más brillante representante de esta disciplina». A. Demolon, *La Génétique des sols [La genética de los suelos]*, París, 1949).

1882

Miembro del círculo (de los hermanos) Oldenburg (*Bratstvo*, «La Fraternalidad») y de la sociedad científico-literaria de los estudiantes de la Universidad de San Petersburgo, disuelta en 1887 tras el arresto y la ejecución de su secretario, Alexander Ulianov, hermano mayor de Lenin. Participa también en una de las numerosas sociedades *Narodnik*.

1883

Publicación del *Tchernozern ruso*, de V. V. Dokuchaev, tesis doctoral en geognosia y mineralogía en la Universidad de San Petersburgo, considerada como la partida de nacimiento de la edafología científica moderna, una de las partes fundamentales de la ciencia interdisciplinar de la ecología. Al año siguiente, Dokuchaev toma a Vernadsky como ayudante.

1885

Licenciatura en la Universidad de San Petersburgo.

1886

Contrae matrimonio con una amiga del círculo Oldenburg, Natalia Egorovna Staritskaya (1860-1943). Permanecieron unidos durante el resto de su vida.

1887

Nacimiento de su hijo George (emigrado en 1921; fallecido en 1973, en los EE.UU.).

1888

Obtiene una beca de dos años para realizar estudios de postgrado en Occidente. Estudia cristalografía y mineralogía con Paul Groth (1843-1927) en Munich, ciudad en la que traba igualmente amistad con el biólogo Hans Driesch (1867-1941), antiguo alumno de Haeckel, célebre posteriormente como filósofo vitalista muy controvertido. En el verano de este año, realiza una excursión a los Alpes con Karl von Zittel (1839-1904), autor del libro clásico *Geschichte der Geologie und Paläontologie [Historia de la Geología y la Paleontología]* (1899). Participa en el Congreso

22

geológico internacional de Londres y es elegido miembro correspondiente de la British Association for the Advancement of Science. Durante un viaje al País de Gales, conoce a su compatriota Alexi P. Pavlov (1845-1929), profesor de geología en Moscú, quien le invita a presentar su candidatura a la Universidad de Moscú.

1889

Primera estancia en París. Estudia mineralogía en el laboratorio de Ferdinand Fouqué (1828-1904), profesor de historia natural en el Colegio de Francia, y allí encuentra a su camarada Valérien Agafonov (nacido también en 1863) y conoce a Alfred Lacroix (1863-1948), futuro yerno de Fouqué y que llegaría a ser profesor del Museo y Secretario perpetuo de la Academia de Ciencias (a partir de 1914). Lacroix será el amigo más íntimo y el eje de las relaciones de Vernadsky con la comunidad científica de París. En la Escuela de Minas, estudia termodinámica y química física con Henry Le Châtelier (1850-1936). Le Châtelier le descubre la obra largo tiempo desconocida de Sadi Carnot (1796-1832) y la del físico matemático estadounidense J. W. Gibbs (1839-1903) sobre *El equilibrio de las sustancias heterogéneas*, de la que era su traductor al francés. Estudia cristalografía con el físico Pierre Curie (1859-1906), del que se hace amigo y con el que discute el fascinante problema de la simetría y de la «disimetría», de acuerdo con la expresión introducida por Louis Pasteur (1822-1895), el célebre médico de cuya obra Vernadsky admiraba sobre todo la dedicada a la química cristalográfica. En Francia, Vernadsky lee continua y abundantemente las obras de Buffon, Lamarck, los geólogos, los químicos, los fisiólogos y sobre todo del gran Claude Bernard (1813-1878) de quien se proclamaba discípulo. Miembro de la «Sección edafológica rusa» en la Exposición Universal de París, simbolizada por la nueva Torre Eiffel, representa allí a su maestro Dokuchaev, galardonado con una medalla de oro. Es elegido miembro de la Sociedad francesa de mineralogía.

1890

Tesis (*Sobre el grupo de las silimanitas y el papel del aluminio en los silicatos*, publicada en 1891) presentada en la Universidad de Moscú. Vuelve a París.

1891

Diplomatura en la Universidad de Moscú. Inicia como *Privatdozent* (profesor no numerario) la carrera de profesor de mineralogía y de cristalografía en la Universidad de Moscú, carrera que va a durar veinte años. Comienza sus trabajos sobre el desarrollo histórico del pensamiento científico. Será también uno de los promotores de la extensión de la enseñanza científica a la mujer.

23

- 1894 *Curso de cristalografía*. Viaja por numerosos países de Europa, visitando los museos y las grandes bibliotecas.
- 1895 Descubrimiento de los rayos X por el físico alemán Wilhelm C. Röntgen (1845-1923), primer premio Nobel de física en 1901.
- 1896 Descubrimiento de la radioactividad por Henri Becquerel (1852-1908), que compartió el premio Nobel de física en 1903 con Pierre Curie (1859-1906) y su esposa Marie Curie -polaca nacida Marja Sklodowska- (1867-1934).
- 1897 Tesis doctoral (*Los fenómenos de deslizamiento en las sustancias cristalinas*) en la Universidad de Moscú. Participa en el VII Congreso geológico internacional en San Petersburgo y Moscú.
- 1898 Profesor no titular. Nacimiento de su hija Nina (que acabaría por emigrar a los EE.UU.). «Mi madre», ha escrito recientemente Sofia, la hija de Theodosius Dobzhansky, «murió en febrero de 1969 durante una visita a Nina Vernadsky Toll, en Middletown, Connecticut». Fallece su madre Anna Petrovna Konstantinovich (nacida en 1837), segunda esposa (en 1862) de su padre, tras el fallecimiento de la primera, la brillante Maria Nikolaevna Shigaeva (1831-1860), pionera de la defensa de los derechos de igualdad para la mujer.
- 1900 Participa en la Exposición Universal de París. Excursión geológica a las montañas del centro de Francia con Louis De Launay (1860-1938), profesor de geología y mineralogía en la Escuela de Minas.
- 1902 Profesor titular. Imparte de forma no remunerada cursos de historia de la ciencia, en especial sobre el desarrollo de la «*visión científica del mundo*», poniendo de relieve la necesidad de una visión unificada de la Naturaleza, siguiendo las huellas de su maestro Dokuchaev y de la tradición holística de Goethe y de la «ciencia humboltiana».
- 1903 *Fundamentos de la Cristalografía*. Inicia su duradera colaboración científica con su ayudante Aleksandr E. Fersman (1883-1945), quien se con-
- vertirá en uno de los más eminentes geoquímicos soviéticos, y autor de un manual y de una obra de gran popularidad sobre la geoquímica, *La Geoquímica recreativa*, traducida al inglés y al francés. Fallecimiento de Dokuchaev.
- 1904 *Páginas de la Historia de la ciencia de los suelos: Dedicado a la Memoria de V. V. Dokuchaev*. Sergei F. Oldenburg (1863-1934), fiel amigo de Vernadsky, es nombrado Secretario permanente de la Academia de Ciencias de San Petersburgo (cargo que mantendrá hasta comienzos de los años treinta).
- 1905 (9 de enero) «Domingo rojo» de San Petersburgo: manifestación ahogada en sangre. Miembro fundador (octubre) del Partido de los Demócratas Constitucionales (los Cadetes) y miembro de su Comité Central (de 1908 a 1918). Con el «Manifiesto de octubre», Nicolás II instituye los derechos civiles fundamentales y crea el Consejo de Estado (cámara alta) y la Duma (cámara baja).
- 1906 *Curso de Mineralogía y de Cristalografía para Estudiantes de Medicina*. Director del Museo de Mineralogía de San Petersburgo. Es elegido miembro del Consejo de Estado en representación de la Academia de Ciencias y de las Universidades.
- 1907 Es elegido para el Comité directivo de la Academia Imperial de Ciencias.
- 1908 Miembro extraordinario de la Academia de Ciencias. *Mineralogía descriptiva* (primera parte de su manual en varios volúmenes). Durante una reunión de la British Association, celebrada en Dublín, se entusiasma con las implicaciones geológicas de la radioactividad, tras una ponencia presentada por John Joly (1857-1933), autor de *Radioactivity and Geology [Radioactividad y Geología]* (1909). A partir de entonces, Vernadsky va a ser el pionero del estudio sistemático de los minerales radioactivos en Rusia. Publicación de la controvertida pero muy influyente obra *Die Energie [La Energía]*, de Wilhelm Ostwald (1853-1932), profesor de físico-química en la Universidad de Leipzig. La doctrina de Ostwald, el energismo, adoptada por los discípulos rusos de Mach, y especialmente por A. Bogdanov (1873-1928), fue duramente atacada por Lenin en su libro de

filosofía del conocimiento, *Materialismo y Empirioirriticismo* (1909, 2ª ed. 1921), futura biblia de la epistemología del estalinismo.

1909

Lee apasionadamente, como si fuese una revelación, la primera edición (1908) de *The Data of Geochemistry [Los Datos de la Geoquímica]*, del estadounidense Frank. W. Clarke (1847-1934), director químico del U.S. Geological Survey, Washington. Decide entonces consagrarse al desarrollo de la geoquímica, «ciencia del siglo XX» que «no podía aparecer más que tras el desarrollo de las ideas científicas modernas sobre los átomos y los elementos químicos, pero (que) se encuentra profundamente arraigada en el pasado de la ciencia».

1910

En la Universidad de París, donde Marie Curie se encontraba todavía luchando por imponer su proyecto de Instituto del Radio (creado en 1914), Vernadsky aboga por la organización de una «radiografía internacional de la corteza terrestre». Publica la obra *Sobre la necesidad de estudiar los minerales radioactivos del Imperio ruso*, San Petersburgo, Academia de Ciencias. En la Junta General de la Academia, en San Petersburgo, el 29 de diciembre, declara (compartiendo las opiniones proféticas del radioquímico inglés Frederick Soddy [1877-1956]) que «la radioactividad ha puesto frente a nosotros fuentes de energía que superan en millones de veces todas las que haya podido imaginar el hombre».

1911

Junto a un importante grupo de profesores de la Universidad de Moscú, Vernadsky presenta su dimisión en señal de protesta contra la política represiva del Ministerio de Educación. Abandona definitivamente la enseñanza universitaria y desde ese momento se consagra por completo a la investigación científica. Regresa a San Petersburgo. Publicación de *Aportaciones de Lomonosov en el campo de las ciencias naturales*, Academia de Ciencias. Visita al gran geólogo y político austriaco Eduard Suess (1831-1914), Presidente de la Academia imperial de Ciencias de Viena. Ya desde 1909, se hallaba completa la enorme obra de síntesis de Suess *Das Antlitz der Erde [La Faz de la Tierra]*, obra que incluía un capítulo final titulado «Das Leben» [«La Vida»] que ponía de relieve (en cursivas) la noción de *Biosfera* (introducida en 1875 en el capítulo final de lo opúsculo *Die Entstehung der Alpen [La Aparición de los Alpes]*).

1912

Miembro ordinario de la Academia de Ciencias, San Petersburgo.

1913

Publicación de *Sobre la necesidad de estudiar de forma inmediata los depósitos de minerales radioactivos de Rusia*, San Petersburgo, Academia de Ciencias. Participa en el XIII Congreso geológico internacional celebrado en Canadá. Viaja también a los EE.UU., reuniéndose allí con eminentes geólogos y mineralogistas y visitando varios grandes laboratorios científico-industriales, en especial el Geophysical Laboratory de la Carnegie Institution en Washington. Publicación de *The Fitness of the Environment. An inquiry into the biological significance of the properties of matter [La capacidad del entorno. Investigación del significado biológico de las propiedades de la materia]*, por el fisiólogo de Harvard Lawrence J. Henderson (1878-1942). Jean Perrin (1870-1942) publica *Les Atomes [Los Átomos]*. Arthur Holmes (1890-1965), pionero en la utilización de los métodos de reducción radioactiva para medir la edad de las rocas, publica *The Age of the Earth [La edad de la Tierra]*.

1914

Comienza la Primera Guerra Mundial. Rusia es atacada por Alemania. «La Primera Guerra Mundial influyó de forma decisiva en mi propia obra científica, en el sentido de que modificó radicalmente mi *noción geológica del mundo*» (Vernadsky, *American Scientist*, 1945). Es nombrado director del Museo de Mineralogía y Geología de la Academia de Ciencias (San Petersburgo se convierte en Petrogrado, hasta 1924).

1915

Creador y Presidente de la Comisión para el Estudio de las Fuerzas Productivas Naturales (CEFPN), dirigida a organizar las «fuerzas científicas, técnicas y sociales para lograr una participación más eficaz en el esfuerzo bélico». Como jefe de la CEFPN, Vernadsky se convierte en el empresario científico más importante en el campo multidisciplinar de los recursos minerales y bióticos de Rusia.

1916

Presidente del Comité científico del Ministerio de Agricultura.

1917

Revolución de febrero. Desmoronamiento del régimen zarista. Los liberales y los socialistas democráticos ocupan el poder. Los Cadetes mantienen la mayoría en el nuevo gobierno provisional de Kerensky (durante ocho meses). Vernadsky es nombrado Adjunto al Ministro de Educación, su amigo Sergei F. Oldenburg, secretario permanente de la Academia de Ciencias. Su amigo y antiguo colega de la Universidad de Moscú, Nikolai Koltsov (1872-1940), fundador del nuevo Instituto de Biología Experi-

mental, es nombrado director de la sección de genética (división de Moscú) de la CEFPN. Vernadsky inicia sus estudios de la composición química de la «materia viva» en relación con la química de la corteza terrestre. Escribe un largo manuscrito sobre *La Materia viva* (que no se publicará por vez primera hasta 1978). Revolución de octubre: los bolcheviques toman el poder y detienen a los ministros del gobierno provisional. Sin embargo, los soviets no tocan todavía a la institución aristocrática y «burguesa» que es la Academia de Ciencias. En su calidad de miembro del Partido Cadete y colaborador del gobierno de Kerensky, Vernadsky forma parte de las personalidades que se encuentran en peligro. En noviembre, afectado de tuberculosis y políticamente amenazado, Vernadsky se refugia con su familia en Poltava, Ucrania, y posteriormente en Yalta.

1918

Al hallarse en desacuerdo tanto con los bolcheviques como con los Cadetes, presenta su dimisión al partido que había contribuido a crear, sintiéndose «moralmente incapaz de participar en la guerra civil» (autobiografía de Vernadsky, citada por K. Bailes). De carácter filosóficamente no violento, condena tanto el terror de los «blancos» como el de los «rojos». Junto a otros eminentes científicos, como el biólogo evolucionista Ivan I. Schmalhausen (1884-1963), Vernadsky funda en Kiev la Academia ucraniana de Ciencias, siendo su primer presidente. Como consecuencia de la inestabilidad política y de la inseguridad entonces dominantes en Kiev, trabaja y vive en la clandestinidad de la Estación de investigación biológica de Starosele, a orillas de Dnieper, dirigida por el microbiólogo Nikolai G. Holodny (1882-1953). Vernadsky crea pioneramente su primer laboratorio de biogeoquímica. Theodosius Dobzhansky (1900-1975), futuro famoso genetista y biólogo evolucionista emigrado (en diciembre de 1927) a los Estados Unidos, era uno de sus ayudantes (1918-19).

1920

Tras la toma de Kiev por el Ejército Rojo, los Vernadsky se refugian en Crimea. Al igual que otros científicos antibolcheviques, Vernadsky se convierte en profesor de la nueva Universidad de Tauride, en Sinferopol, bajo administración del ejército del general Wrangel. En octubre, es elegido rector de esa Universidad. Sin embargo, esta prestigiosa posición tiene vida efímera. A continuación, los Vernadsky se cuentan entre los beneficiarios de la ayuda occidental, en especial de la famosa American Relief Administration (ARA).

1921

Pese a la ayuda occidental, los ejércitos blancos se muestran incapaces de resistir al Ejército Rojo. El general Wrangel a duras penas puede organi-

zar la evacuación de los civiles y militares antibolcheviques, incluyendo los Vernadsky, pero únicamente su hijo George, licenciado en historia por la Universidad de Moscú, acepta ser evacuado (emigra primeramente a Praga, como profesor de la Universidad de Carlos). Como escribe el historiador estadounidense K. Bailes en su biografía de Vernadsky (1990), éste «was clearly fed up with politics» («estaba evidentemente harto de la política»). Con su mujer y su hija, Vernadsky es detenido por la Cheka (política política de los bolcheviques), quien los traslada *manu militari* a Moscú. Gracias a la intervención de algunos amigos, como S. Oldenburg, N. Fedorovsky, antiguo alumno convertido en jefe del Consejo Supremo de Economía Nacional (muerto en prisión en 1937), e incluso de Lenin, los Vernadsky son puestos en libertad con toda rapidez. En Petrogrado y con ayuda de su asistente Vitalii G. Khlopín (1890-1950), Vernadsky transfiere su laboratorio de mineralogía de la Academia en Instituto ruso del Radio (creado formalmente en enero de 1922, con Vernadsky como director). Organiza también una Comisión (que se convertirá más tarde en el Instituto del Ártico) para el estudio y la utilización del permafrost<sup>1</sup>. Es el promotor y primer presidente de la Comisión para la Historia del Conocimiento Científico, creada en el seno de la Academia de Ciencias. Asociada a la CEFPN, dirigida por Vernadsky, se crea por el genetista Iurii A. Filipchenko (1882-1930) la Agencia de Genética y de Eugénica. Entre 1924 y 1927, Dobzhansky colabora con Vernadsky. El naturalista Sergei Chetverikov (1880-1959) es nombrado miembro del Instituto de Koltsov, institución en la que trabaja también (hasta 1925) Nikolai V. Timofeev-Resovsky (1899-1981).

1922

Aparecen *El Origen y la Eternidad de la Vida* (un opúsculo muy popular) y sus famosos *Ensayos y Discursos*, publicados únicamente en ruso. En el prefacio de este último libro en dos volúmenes, Vernadsky escribe: «Nos aproximamos a una formidable revolución en la vida de la humanidad, sin punto de comparación con todo lo que se ha experimentado hasta ahora. No está lejos el momento en que el hombre tendrá a su disposición la energía atómica como fuente de poder que le permitirá construir la vida como le plazca... ¿Será el hombre capaz de utilizar este poder y dirigirlo hacia su provecho y no hacia su autodestrucción?». Por invitación oficial del Rector de la Sorbona, el matemático Paul Appell (1855-1930) -V. Agafonov, que en 1920-21 era el encargado de las relaciones entre la Universidad Tauride de Sinferopol y la Universidad de París, fue uno de los promotores de esa invitación-, Vernadsky y su esposa no vacilaron en

<sup>1</sup> Subsuelo u otra materia subterránea que se encuentra a lo largo de todo el planeta a temperatura inferior a 0° C, como sucede en las regiones árticas; terreno permanentemente helado. N. del Ed.

abandonar Rusia y trasladarse a Francia (en julio), pasando previamente un mes (junio) en Praga, donde residían entonces sus dos hijos. En calidad de «profesor agregado de la Universidad de París», se invitó a Vernadsky a pronunciar una serie de conferencias sobre Geoquímica, materia considerada en aquella época como nueva disciplina científica. «In my lecture at the Sorbonne in Paris in 1922-23, I accepted biogeochemical phenomena as the basis of the biosphere» («En la conferencia que pronuncié en la Sorbona de París en 1922-23, reconocí los fenómenos geoquímicos como la base de la Biosfera») (*American Scientist*, 1945). Fue acogido calorosamente en el laboratorio de mineralogía de su amigo Lacroix, en el Museo de Historia Natural, donde ya se encontraba Agafonov. Trabajó también en el Instituto del Radio de Marie Curie, colaborando especialmente con la señora C. Chamié. Mantuvo numerosas discusiones (si bien se ignora la cronología exacta de las mismas) con el erudito jesuita Pierre Teilhard de Chardin (1881-1955), a la sazón profesor de geología en el Instituto Católico y Presidente de la Sociedad Geológica de Francia (1922-23). Junto a Teilhard, se reunió también con el matemático y filósofo Edouard Le Roy (1870-1954), discípulo y sucesor de Bergson en el Colegio de Francia. No conocemos con exactitud el contenido de sus discusiones, pero se sabe que el trio formado por Teilhard, Le Roy y Vernadsky inventó la noción de «Noosfera», expresión aparentemente acuñada por Teilhard, «por analogía con la Biosfera de Suess», y manifestada públicamente por vez primera por Le Roy en sus cursos del Colegio de Francia (1925-26) y en los dos libros que publicó en 1927 y 1928 (Vernadsky atribuye a Le Roy la paternidad de la palabra y del concepto de Noosfera). La expresión Noosfera no fue utilizada por Vernadsky más que a partir de la segunda mitad de los años treinta.

1923

«Le mendeleevite, nouveau mineral radioactif» («El mendeleiev, nuevo mineral radioactivo»), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*, «La composition chimique de la matière vivante et la chimie de l'écorce terrestre» («La composición química de la materia viva y la química de la corteza terrestre»), *Revue générale des Sciences* (30 de enero). Gracias a Appell, Vernadsky es recibido (en mayo) por el ilustre filósofo Henri Bergson (1859-1941), entonces Presidente de la Comisión Internacional de Cooperación Intelectual, creada en 1922 por la Sociedad de Naciones (y de la que eran miembros Marie Curie, Einstein...). Su amigo S. Oldenburg, secretario permanente de la Academia de Ciencias de Petrogrado, hace un rápido viaje a París y le comunica la prolongación de su misión hasta mayo de 1924. Vernadsky viaja a Inglaterra para asistir a una reunión de la British Association en Liverpool. El Departamento de Oceanografía de la Universidad de Liverpool publica su «Plea for the establish-

30

ment of a bio-geochemical laboratory» («En favor de la creación de un laboratorio biogeoquímico»), texto que envía igualmente a los Estados Unidos. Las respuestas no son nada estimulantes; ninguna institución científica de Occidente está dispuesta a apoyar financieramente su proyecto de laboratorio biogeoquímico: para el mundo académico y científico de la época, la biogeoquímica no existía en absoluto.

1924

Publicación de *La Géochimie [La Geoquímica]*, París, Félix Alcan, en «Nouvelle collection scientifique» («Nueva colección científica»), dirigida por el matemático Emile Borel (1871-1956) —yerno de Appell—, obra dedicada a la memoria de Fouqué. A lo largo de los cursos dictados en la Sorbona, Vernadsky añade importantes notas bibliográficas. El manuscrito es revisado por completo por su amigo Lacroix. Publicación de «La matière vivante et la chimie de la mer» («La materia viva y la química del mar»), *Revue générale des Sciences* (15 y 30 de enero). *Sur l'analyse des sols du point de vue géochimique [Sobre el análisis de los suelos desde el punto de vista geoquímico]*, comunicación presentada al IV Congreso Internacional de Edafología, celebrado en Roma, donde se funda la Asociación Internacional de las Ciencias del Suelo (AICS).

El bioquímico Alexander I. Oparin (1894-1980), licenciado por la Universidad de Moscú en 1917, publica su más tarde célebre opúsculo *El origen de la vida*, Moscú (traducido al inglés en 1967), posteriormente reeditado, aumentado y publicado en varias ediciones. Oparin cita ampliamente a Vernadsky y a su obra (sin embargo, no existe todavía un estudio crítico sobre las relaciones entre ambos científicos).

1925

Publicación de «L'autotrophie de l'humanité» («La autotrofia de la humanidad»), *Revue générale des Sciences* (15-30 de septiembre), y de «Sur la portée biologique de quelques manifestations géochimiques de la vie» («Sobre la tendencia biológica de ciertas manifestaciones geoquímicas de la vida»), *Revue générale des Sciences* (30 de mayo). El estadístico y biotemático estadounidense Alfred J. Lotka (1880-1949) publica su única obra *Elements of Physical Biology (Elementos de Biología Física)*, vuelta a publicar en 1956 como un «clásico en la aplicación de las matemáticas a la biología y a las ciencias sociales». Su impacto sobre los economistas y los ecólogos será importante, pero contradictorio. Las ideas de Lotka coinciden en muchos puntos con las de Vernadsky: ambos autores lo reconocieron pronto por sí mismos. Con ocasión del 200º aniversario de la Academia de Ciencias de Leningrado, el nombre de Vernadsky no aparecía incluido en la lista de miembros presentes (como se le había advertido en caso de no regresar), advertencia que afectó claramente al amor propio de Vernadsky.

31



1926

Publicación de *Biosfera*, Leningrado, Nauchn. khim.-tekhn. Izdatel'svo, 148 p. (Tirada de 2.000 ejemplares.) Vernadsky cumple 64 años. La ausencia de apoyo financiero permanente para su proyecto de laboratorio biogeoquímico, un profundo patriotismo (por no decir cierto nacionalismo) y una sincera lealtad tanto a su querida Academia como a sus amigos que seguían en Rusia, empezando por Oldenburg, impulsaron a Vernadsky a regresar a Rusia, ya la URSS. No le acompañó más que su esposa, formando ya sus hijos definitivamente parte de la emigración rusa al extranjero. Vuelto a Leningrado, Vernadsky ocupa de nuevo inmediatamente su plaza en el seno de la Academia de Ciencias y reorganiza su laboratorio de la «materia viva». Vuelve a ocupar la dirección de la CEFPN (hasta su reorganización y su «bolchevización» en 1930). Es elegido miembro correspondiente de las Academias de Ciencias de Serbia y de Checoslovaquia. Envía una carta (3 de junio) a Lacroix para recomendarle al botánico Nicolai Vavilov (1887-1943), joven investigador en quien advina un brillante porvenir científico. Vavilov acababa de publicar su obra *Centros del origen de las plantas cultivadas*, que causó inmediatamente sensación. El célebre general surafricano Jan Christiaan Smuts (1870-1950) publica su obra filosófica *Holism and Evolution [Holismo y Evolución]* (Londres, Nueva York, 2.<sup>a</sup> ed. 1927); Vernadsky la lee y la cita rápidamente, manifestando su simpatía hacia el holismo.

1927

Publicación de *Ideas sobre la significación contemporánea de la historia del conocimiento*, primera entrega de las publicaciones de la Comisión sobre la Historia del Conocimiento de la Academia (en ruso). «Sur la dispersion des éléments chimiques» («Sobre la dispersión de los elementos químicos»), *Revue générale des Sciences* (15 de enero). Viaje de tres meses por Europa Occidental. Vernadsky, junto a Fersman y otros colegas, participa en la Semana de la Ciencia soviética, organizada en Berlín por la «Sociedad de los Amigos de la Nueva Rusia en Alemania» (creada en 1923). Se encuentra allí con los Timofev (Einstein estaba también presente). Colabora a la fundación del Instituto del suelo Dokuchaev, en Leningrado, dirigido por Glinka y más tarde por Polynov (instituto transferido a Moscú a mitad de los años treinta). George Vernadsky se convierte en profesor de historia rusa en la Universidad de Yale (se jubiló en 1956), gracias a un amigo de su padre, el naturalista Alexandre Petrunkevich (1875-1964), emigrado a los Estados Unidos en 1903 y profesor en Yale. El biólogo inglés G. E. Hutchinson (1903-91) llega a Yale el año siguiente. Edouard Le Roy publica *L'Exigence idéaliste et le fait de l'évolution [La exigencia idealista y el hecho de la evolución]* (París), obra que contiene una extensa discusión filosófica de las nuevas nociones científicas de

32

Biosfera y de Noosfera, con referencia a los trabajos de su amigo Teilhard y al geocímico ruso Vernadsky. El ecólogo inglés Charles Elton (1900-91) publica *Animal Ecology [Ecología animal]* (Londres).

1928

«Über die geochemische Energie des Lebens in der Biosphäre» («Sobre la energía geoquímica de la vida en la Biosfera»), *Zentralblatt für Mineralogie, Geologie und Paläontologie*. «Le bactériophage et la vitesse de transmission de la vie dans la biosphère» («El bacteriófago y la velocidad de transmisión de la vida en la Biosfera»), *Revue générale des Sciences* (15 de marzo). Es elegido (11 de junio) miembro correspondiente de la Academia de Ciencias de París (Sección de Mineralogía). Se reorganiza su departamento de la materia viva y da finalmente lugar al Laboratorio Biogeoquímico (BIOGEL), que, posteriormente, tras la Segunda Guerra Mundial, se convertirá en el Instituto Vernadsky de Geoquímica y de Química Analítica, en Moscú, bajo la dirección de su discípulo y colaborador Aleksandr P. Vinogradov (1895-1975). Edouard Le Roy publica *Les Origines humaines et l'évolution de l'intelligence [Los orígenes humanos y la evolución de la inteligencia]* (París), resaltando la importancia de la noción de Noosfera y haciendo siempre referencia a Teilhard y a Vernadsky.

1929

*La Biosphère [La Biosfera]*, París, Félix Alcan, «Nouvelle collection scientifique» («Nueva colección científica»). En la URSS, el «gran giro» anunciado por Stalin va acompañado de medidas represivas cada vez más dramáticas. La dictadura del Partido comunista se convierte en la dictadura personal de Stalin. Expulsiones, purgas, juicios, ejecuciones, deportaciones a campos de concentración (el Gulag). Vernadsky hace todo lo que puede para organizar la resistencia contra la influencia del Partido comunista en la Academia de Ciencias y contra el materialismo dialéctico, erigido en doctrina oficial de la ciencia soviética. Varios de sus amigos o colaboradores más próximos son detenidos, encarcelados o deportados. Él mismo es objeto de vivas polémicas entre los ideólogos del Partido. La censura comunista le impide publicar sus ideas filosóficas. De forma paralela, la Iglesia incluye en el Índice los libros de Le Roy y prohíbe al Padre Teilhard de Chardin publicar sus «obras».

1930

*Geochemie in ausgewählten Kapiteln*, Autorisierte Uebersetz. aus d. Russischen von Dr. E. Kordes [*Geoquímica en capítulos seleccionados*, traducción autorizada del ruso por el Dr. E. Kordes], Leipzig, Akademische Verlagsgesellschaft. «Sur la classification et sur la composition chimique des eaux naturelles» («Sobre la clasificación y composición química de las aguas

33

naturales»), *Bulletin de la Société minéralogique de France*. «Sur les eaux naturelles riches en radium» («Sobre las aguas naturales ricas en radio»), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. «Consideraciones generales sobre el estudio de la composición química de la materia viva», *Trabajos del Laboratorio de Biogeoquímica de la Academia de Ciencias de la URSS*, Leningrado. «L'étude de la vie et la nouvelle physique» («El estudio de la vida y la nueva física»), *Revue générale des Sciences* (21 de diciembre). Por iniciativa suya, la Academia crea una Comisión para el agua pesada. El ecólogo Vladimir V. Stanchinsky (1882-1942), que desarrolla un enfoque energético y holístico de los sistemas naturales directamente inspirado en la teoría de la Biosfera de Vernadsky, se ve atacado por Isai I. Prezent (1902-67), «bolchevizador» de la biología soviética y aliado de Trofim D. Lysenko (1898-1976), futuro vencedor en la rivalidad con el gran Vavilov (apoyado por Vernadsky). A comienzo de los años treinta, los ecólogos y principalmente los protectores de la Naturaleza son denunciados como «contrarrevolucionarios, saboteadores y traidores». La CEFPN se sustituye por el Consejo para el Estudio de las Fuerzas Productivas (CEFP), bajo dirección comunista. La Comisión sobre la Historia del Conocimiento se transforma en Instituto de Historia de las Ciencias y de las Técnicas. Vernadsky es sustituido en la dirección del Instituto por Nikolai Bujarin (1888-1938), una de las figuras históricas de la Revolución de Octubre y uno de los mejores teóricos del Partido (y que acabaría siendo víctima del terror estalinista).

1931

«Les isotopes et les organismes vivants» («Los isótopos y los organismos vivos»), *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences*. «El estudio del fenómeno de la vida y la nueva física» (en ruso). Segundo Congreso Internacional de la Historia de la Ciencia y la Tecnología, en Londres, destacado por las contribuciones marxistas de la delegación soviética dirigida por N. Bujarin (y que incluía a A. Loffe, N. Vavilov, B. Hessen, pero en modo alguno a Vernadsky...).

1932

«Sur les conditions de l'apparition de la vie sur la terre» («Sobre las condiciones de aparición de la vida sobre la Tierra»), *Revue générale des Sciences*. «Liquid carbon dioxide in ocean water» y «Liquid carbon dioxide in the ocean» («Dióxido de carbono líquido en las aguas oceánicas» y «Dióxido de carbono líquido en el Océano»), *Nature*. Visita a su colega, el geocímico noruego Victor Moritz Goldschmidt (1888-1947), en Gotinga, Alemania. Viaja a París. El Instituto del radio que dirige decide la construcción de un ciclotrón (en funcionamiento en 1937), con la colaboración del físico Igor Kurchatov (1903-60), futuro responsable del programa soviético de la bomba atómica.

34

1933

«Océanographie und Geochemie» («Oceanografía y Geoquímica»), *Mineralogie und Petrologie Mitteilug*. Es invitado por la Universidad de París: pronuncia dos conferencias (19 y 22 de diciembre) sobre la radiogeología en el Instituto del Radio de Marie Curie. Por iniciativa suya, la Academia de Ciencias constituye una Comisión sobre los meteoritos.

1934

*Historia de las aguas naturales* (en ruso). Su amigo y colaborador Boris L. Lickov (1888-1966) es detenido y deportado. Proseguirá mucho tiempo la correspondencia Vernadsky-Lickov (se publicará, censurada, en 1979-80). «Le problème du temps dans la science contemporaine» («El problema del tiempo en la ciencia contemporánea»), *Revue générale des Sciences* (31 de octubre de 1934 y 31 de mayo de 1935), publicado también como separata (París, Doin) en 1936.

1935

Traslado de la Academia de Ciencias a Moscú. Último viaje a Francia. *Les Problèmes de la radiogéologie [Los problemas de la radiogeología]*, París. Encuentra cada vez más dificultades para publicar sus trabajos no técnicos y para comunicarse con el extranjero. Comienzo de los grandes «juicios» en Moscú. El matemático y geofísico ruso Vladimir Kostuzin (1882-1963), que había colaborado con Vernadsky y había emigrado a París en los años veinte, publica *Evolution de l'Atmosphère, circulation organique, époques glaciaires [Evolución de la atmósfera, circulación orgánica, épocas glaciares]*, vínculo poco conocido entre Vernadsky y la historia del debate sobre el efecto invernadero.

1937

*La geología del radio y su significado para la geología actual*, comunicación al XVII Congreso geológico internacional, celebrado en Moscú. En esta ocasión, propone el establecimiento de una comisión internacional que mida los tiempos geológicos por métodos radioactivos. «Sobre los límites de la Biosfera», Academia de Ciencias, Serie geológica (en ruso). Detienen a tres jóvenes investigadores del BIOGEL.

1938

*Goethe, naturalista*, no publicado hasta 1946. *El pensamiento científico como fenómeno planetario*, no publicado hasta 1977 (y censurado). Organiza una exposición de meteoritos. Tras el proceso y la ejecución de Bujarin, se disuelve el Instituto de Historia de las Ciencias y de las Técnicas. Khlopin sustituye a Verdnasky a la cabeza del Instituto del Radio.

35

1939

Comienza la Segunda Guerra Mundial. Por iniciativa de Vernadsky, la Comisión sobre el agua pesada se transforma en Comisión de isótopos. «On some fundamental problems of biogeochemistry» («Sobre algunos problemas fundamentales de biogeoquímica») *Trabajos del Laboratorio Biogeoquímico de la Academia de Ciencias de la URSS*, Moscú. Es detenido su viejo amigo D. Shakhovskoi (moriría en prisión el año siguiente).

1940

*Ensayos Biogeoquímicos, 1922-1932*, Moscú, Academia de Ciencias de la URSS (en ruso). Trabaja sobre el problema de la Biosfera en el espacio. Se ensimisma en la redacción de la obra de su vida, *La estructura química de la Biosfera de la Tierra y de su entorno*, que quedaría inacabada y no sería publicada por la Academia de Ciencias hasta 1965 (y en 1987). Hace un llamamiento a los científicos y al gobierno soviético para que se cree con urgencia una Comisión sobre el problema del uranio, comisión que se instituye el 30 de julio, con el físico Abram Loffe (1880-1960) como presidente y Khlopin como vicepresidente. Escribe una carta sobre la necesidad de un programa de energía atómica, dirigida al geofísico Otto Schmidt (1891-1956), vicepresidente de la Academia de Ciencias y allegado a Stalin. Sin ignorar las implicaciones militares de la energía atómica, Vernadsky se preocupa fundamentalmente por las necesidades energéticas a largo plazo de su país y de la humanidad.

1941

El ejército nazi alemán invade la URSS. Junto a otros académicos de edad, se evacúa a Vernadsky al balneario de Borovoe, al norte de Kazajistán. Opuesto a la dictadura científica de Lysenko, N. Vavilov se convierte en su más célebre víctima: es detenido, destituido de todos sus cargos y enviado al campo de concentración de Kolyna; moriría en la prisión de Saratov en 1943.

1942

*Sobre las capas geológicas de la Tierra como planeta*, Moscú, Academia de Ciencias de la URSS, «Serie geográfica y geológica». En los Estados Unidos, Raymond Lindeman (1915-1942), protegido del profesor Hutchinson en Yale, escribe «The trophic-dynamic aspect of ecology» («El aspecto trófico-dinámico de la ecología»), que aparece en la revista *Ecology*; poco después de su prematuro fallecimiento. En este trabajo fundamental, que marca el nacimiento de la ecología de sistemas estadounidenses, Lindeman adopta explícitamente, siguiendo a Hutchinson, «el enfoque biogeoquímico de Vernadsky». En la bibliografía, cita *La Biosphère* (1929) de Vernadsky.

36

1943

Con motivo de su 80º cumpleaños, se rinden oficialmente honores a Vernadsky (pero recibir honores es una cosa y comprender la obra otra muy distinta). Recibe especialmente el Premio Stalin. Escribe «Algunas palabras sobre la Noosfera», publicado en ruso en 1944 en una revista de biología (traducido por su hijo George y publicado —a instancias del profesor Hutchinson— en *American Scientist*, en enero de 1945, pocos días después del anuncio de su muerte). Tras el fallecimiento de su mujer Natalia en Borovoe (en febrero), Vernadsky regresa a Moscú. Expresa la opinión de que, una vez finalizada la guerra, los científicos soviéticos deberían relacionarse sobre todo con los estadounidenses.

1944

*Problems of Biogeochemistry, II [Problemas de Biogeoquímica, II]*, traducido por George Vernadsky, editado y extractado por G. E. Hutchinson, New Haven, Yale University Press, *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, vol. 35.

1945

6 de enero: fallece en Moscú a consecuencia de una hemorragia cerebral.

37

## Bibliografía

- 1960  
VERNADSKY, *Biosfera*, Moscú, Obras escogidas, vol. 5.  
VERNADSKY, *Biosfera*, Belgrado: Kultura.
- 1963  
Conmemoración en la Academia de Ciencias de la URSS del 100º aniversario del nacimiento del Académico V. Vernadsky.
- 1965  
Publicación póstuma de *La estructura química de la Biosfera de la Tierra y de su entorno*, Academia de Ciencias de la URSS, Moscú: Nauka (en ruso).
- 1967  
Nueva edición de *Biosfera*, Moscú: Mysl'.
- 1968  
UNESCO, *Conferencia de la Biosfera*, París.
- 1970  
G. E. HUTCHINSON et al., *The Biosphere [La Biosfera]*, A Scientific American Book, San Francisco: Freeman.
- 1975  
VERNADSKY, *Les pensées d'un naturaliste [Ideas de un naturalista]*, vol. 1: *L'espace et le temps dans la nature vivante et inerte [Espacio y tiempo en la Naturaleza viva e inerte]*, Moscú: Nauka.
- 1976  
I. A. FEDOSEYEV, «Vernadsky, Vladimir Ivanovich», *Dictionary of Scientific Biography*, ed. por Charles C. Gillispie, Nueva York: Charles Scribner's Sons, pp. 616-620.

- 1977 VERNADSKY, *Les pensées d'un naturaliste [Ideas de un naturalista]*, vol. 2: *La pensée scientifique en tant que phénomène planétaire [El pensamiento científico como fenómeno planetario]*, Moscú: Nauka (edición incompleta).
- 1982 R. BALANDINE, *La vie et l'oeuvre de Vladimir Vernadsky [Vida y obra de Vladimir Vernadsky]*, Moscú: Ediciones Mir, «Grandes nombres de la ciencia y de la técnica» (también en inglés).
- 1986 Se publica en Estados Unidos y en Gran Bretaña una versión inglesa muy resumida de V. VERNADSKY, *The Biosphere [La Biosfera]* (Synergetic Press).  
B. S. SOKOLOV, *Biosphère: Concept, Structure, Evolution. V. I. Vernadsky et notre temps [Biosfera: Concepto, Estructura, Evolución. V. I. Vernadsky y nuestra época]*, Moscú: Nauka.
- 1988 VERNADSKY, *Ideas filosóficas de un naturalista*, Moscú: Nauka (en ruso).  
125º Aniversario del nacimiento del Académico V. Vernadsky, Symposium (4-12 de marzo de 1988) de la Academia de Ciencias de la URSS, en Leningrado, Kiev y Moscú. En Rusia y en Ucrania, se celebra el «Año Vernadsky». Inflación de publicaciones de y sobre Vernadsky. Todos los comentarios son muy elogiosos, pero en realidad contradictorios, y más ideológicos que críticos.  
James E. LOVELOCK, *The Ages of Gaia [Las Eras de Gaia]*, Nueva York: Norton.
- N. POLUNIN y J. GRINEVALD, «Vernadsky and Biospherical Ecology» («Vernadsky y la ecología de la Biosfera»), *Environmental Conservation*, 1988, 15(2), pp. 117-122.
- J. GRINEVALD, «Sketch for a history of the idea of Biosphere» («Esbozo de una historia de la idea de Biosfera»), en P. Bunyard y E. Goldsmith, eds., *Gaia: The Thesis, the Mechanism and the Implications [Gaia: tesis, mecanismo e implicaciones]*, Camelford, Cornwall, Reino Unido, Wadebridge Ecological Centre, pp. 1-34.
- 1989 VERNADSKY, *Biosfera y Noosfera*, Moscú: Nauka (en ruso).
- 1990 Kendall E. BAILES, *Science and Russian Culture in an Age of Revolutions: V. I. Vernadsky and His Scientific School, 1863-1945 [Ciencia y cultura rusas en una era de revoluciones: V. I. Vernadsky y su escuela científica, 1863-1945]*, prefacio de Loren R. Graham, Bloomington: Indiana University Press.
- 1991 VERNADSKY, *El pensamiento científico como fenómeno planetario*, Moscú: Nauka (en ruso).
- 1992 VERNADSKY, *Trabajos de biogeoquímica y geoquímica de los suelos*, Moscú: Nauka (en ruso). Volumen I de la edición completa de las obras de Vernadsky.
- 1993 V. VERNADSKY, *La Biosfera* (traducción italiana basada en la edición estadounidense de 1986, con una introducción de J. Grinevald), Como, Italia: Red edizioni.
- 1994 VERNADSKY, *La materia viva y la Biosfera*, Moscú (en ruso). Volumen II de la edición completa de las obras de Vernadsky.  
VERNADSKY, *Trabajos de geoquímica*, Moscú (en ruso). Volumen III de la edición completa de las obras de Vernadsky.
- 1996 P. BUNYARD, ed., *Gaia in Action: Science of the Living Earth [Gaia en acción: Ciencia de la Tierra viva]*, Edimburgo: Floris Books.  
Raisa L. BERG, «Vernadsky, Vladimir Ivanovich», en P. Tort, ed., *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Evolution*, París: PUF, vol. 3, pp. 4439-4453.  
E. T. YANSHINA, *La evolución de las ideas de V. I. Vernadsky sobre la Biosfera y el desarrollo de la doctrina de la Noosfera*, Moscú (en ruso).
- 1997 VERNADSKY, *Scientific Thought as a Planetary Phenomenon [El pensamiento científico como fenómeno planetario]* traducido del ruso por D. A. Starostin, prefacio y comentario de A. L. Yanshin y F. T. Yanshina, Moscú: Fundación Ecológica no gubernamental V. I. Vernadsky.  
Se publica en Nueva York una edición crítica, en inglés, de *La Biosfera* (A Peter N. Nevaumont Book, Copernicus), traducción de David Langmuir, prefacio de Lynn Margulis, introducción de J. Grinevald, edición del texto y anotaciones por Mark McMenamin.  
Se prepara (por J. Grinevald) una edición crítica francesa de *La Biosfera* (París: Le Seuil, «Sources du savoir»).

LA BIOSFERA

---

---

## Prólogo a la edición francesa

El presente libro fue publicado en lengua rusa en 1926. Su traducción al francés ha permitido su revisión, así como su reestructuración parcial, con respecto a la edición original.

Marca una continuidad con relación a nuestro ensayo sobre *La Geología*, publicado en esta misma colección (1924), del cual acaba de aparecer una traducción al ruso y del que saldrá a la luz, de forma inminente, una versión alemana.

Nos abstenemos prácticamente de aportar datos bibliográficos; a tal efecto remitimos a nuestra *Geoquímica*.

Hemos abordado los mismos problemas en varios artículos, los más representativos de entre los cuales están publicados en francés en la *Revue générale des Sciences* (1922-1928) y en los *Bulletins de l'Académie des Sciences de Leningrad* (Petersburgo) (1926-1927).

El propósito de esta obra consiste en recabar la atención de los naturalistas, de los geólogos y en especial de los biólogos, sobre la relevancia del estudio cuantitativo de la vida en sus vínculos indisolubles con los fenómenos químicos del planeta.

Hemos procurado mantenernos siempre en el terreno empírico, sin aventurar hipótesis; es un terreno muy acorado aún debido al reducido número de observaciones y de experiencias estrictamente cuantitativas a nuestro alcance. A día de hoy resulta primordial proceder, con la mayor celeridad posible, al máximo acopio de datos empíricos formulados cuantitativamente.

Tal anhelo sin duda se cumplirá en cuanto se torne evidente la enorme influencia de la biosfera en los fenómenos de la vida.

Confiamos en que el presente texto, cuyo objetivo radica en poner de manifiesto tamaño incidencia, no pasará inadvertido.

Como apéndice a la traducción francesa, agregamos la comunicación: *La Evolución de las especies y la materia viva* que completa, a nuestro juicio, las tesis defendidas en «La Biosfera».

Diciembre 1928.

## Prólogo a la edición rusa

Entre las múltiples obras geológicas faltaba un estudio de conjunto sobre la biosfera, donde ésta fuera expuesta en su calidad de bloque integral, como la manifestación regular del mecanismo de funcionamiento del planeta, de su región superior, la corteza terrestre.

Por lo general no llega a valorarse siquiera el hecho de que la existencia de la biosfera se rige por leyes fijas.

La vida sobre la Tierra se contempla como un fenómeno accidental; consiguientemente, las concepciones científicas al uso ignoran la acción de la vida sobre el curso de los procesos terrestres que se manifiestan por doquier. Nosotros abogamos, en cambio, por la no-contingencia del desarrollo vital sobre la Tierra y por la no-contingencia de la formación, en su superficie y en el límite con el medio cósmico, de una envoltura específica animada de vida, la biosfera.

El estado de conocimientos científicos mencionado guarda una estrecha correspondencia con el enfoque concreto, producto de la elaboración histórica, según el cual los fenómenos geológicos se interpretan como un conglomerado de manifestaciones de causas irrelevantes, como un *cúmulo de accidentes*. Se pierde de vista así la noción científica de los fenómenos geológicos como *fenómenos planetarios*, cuyas regularidades no son un patrimonio exclusivo de la Tierra; también se pierde la comprensión de la estructura terrestre como un *mecanismo* cuyas partes configuran un conjunto armónico y cuyas particularidades es menester estudiar relacionándolas con la citada noción de mecanismo; es decir, en función de un todo indivisible.

En geología se tiende a restringir la investigación a las particularidades de los fenómenos referidos a la vida. El estudio del *mecanismo* donde las mismas se imbrican deja de plantearse como un problema científico. Por tanto, dado que tal aspecto no subyace como un problema, el investigador bordea las manifestaciones de su entorno sin detectarlas.

En sus ensayos, el autor ha procurado adoptar un enfoque distinto con respecto a la importancia geológica de los fenómenos vitales.

No formula hipótesis. Intenta permanecer entre los límites de un terreno sólido y firme, el propio de las generalizaciones empíricas. Basándose en hechos concretos e irrefutables, trata de exponer la manifestación



geológica de la vida, de ofrecer un panorama del proceso planetario que se despliega en derredor nuestro.

Por lo demás, desestima *tres ideas preconcebidas* cuya vigencia, históricamente asentada en el pensamiento geológico, se contraponen —a su juicio— con las generalizaciones empíricas de la ciencia, que marcan el mayor logro de los naturalistas.

La primera de tales ideas estriba en concebir, como ya se ha indicado, los fenómenos geológicos como *coincidencias fortuitas de causas*, ciegas por su propia esencia o revisiendo dicho carácter debido a la complejidad y a la pluralidad de las mismas, inasequibles para el pensamiento científico actual.

Esta idea preconcebida, difundida en la ciencia, enlaza en cierta medida con determinadas cosmovisiones filosóficas y religiosas; suele apoyarse en un análisis lógico insuficiente de los fundamentos de los conocimientos empíricos.

El autor supone que las otras dos ideas preconcebidas que se han infiltrado en el trabajo geológico se enraizan en unas construcciones ajenas a los principios empíricos de la ciencia y se han agregado desde campos foráneos. En primer lugar, se considera lógicamente necesario el hecho *de que exista un comienzo para la vida*, una génesis vital, en alguna etapa del pasado geológico de la Tierra. Dicha idea ha penetrado en la ciencia con el ropaje de especulaciones religiosas y filosóficas. En segundo lugar, también se considera como una condición lógicamente necesaria la repercusión, sobre los fenómenos geológicos, *de las etapas pregeológicas de la evolución del planeta*, cuyo estado se diferenciaba claramente del que es actualmente objeto de estudio de la investigación científica. En particular se propugna, con un grado de certeza absoluta, la existencia de la fase ígneo-líquida o incandescente-gaseosa de la Tierra. Ambas premisas han irrumpido en la geología cuando se concibió una esfera de intuiciones y de búsquedas filosóficas —ante todo, cosmogónicas.

El autor se encuentra en la tesitura ineludible de calificar de vanas las inferencias lógicas de las ideas reseñadas por entender que su aplicación al trabajo geológico ordinario entraña perjuicios y riesgos.

Sin conjeturar la existencia del *mecanismo planetario* que ensambla los distintos componentes del planeta en un conjunto indivisible, el autor intenta abarcar, al efecto, todos los datos empíricos con una base científica y aprecia la perfecta concordancia de tal idea con el concepto del impacto geológico de la vida. A su juicio, la existencia del mecanismo planetario donde se inserta la vida y, específicamente, la capa donde ésta se manifiesta, la biosfera, como un componente de aquél, se corresponde con la totalidad de los datos empíricos y deriva necesariamente de su análisis científico.

Al no aceptar la necesidad lógica de asumir un comienzo para la vida, ni la repercusión de las etapas cósmicas del planeta sobre los fenómenos

geológicos —en concreto, la existencia de un estado anterior ígneo-líquido o gaseoso—, el autor proscribire tales premisas del campo de sus investigaciones. Puesto que no descubre impronta alguna de su expresión en los datos empíricos al alcance del estudio, le compete tacharlas de construcciones inútiles, ya que restringen el alcance de las generalizaciones científicas consistentes y válidas. Mediante el análisis de estas últimas, por tanto, y la síntesis teórica que se relaciona con ellas, renuncia en lo sucesivo a las hipótesis filosóficas y cosmogónicas sin fundamentación posible en los hechos. Es menester buscar hipótesis distintas.

Los dos ensayos que conforman el presente volumen: *La Biosfera en el Cosmos* y *El campo de la vida* son independientes entre sí, pero comparten el enfoque descrito sobre estas líneas. El autor se ha sometido al imperativo de elaborarlos como consecuencia de sus estudios acerca de los fenómenos vitales en la biosfera, a los que se consagra desde 1917.

PRIMERA PARTE

LA BIOSFERA EN EL COSMOS

---

---

## La Biosfera en el medio cósmico

1. La faz de la Tierra, su imagen en el Cosmos percibida desde el exterior, desde la lejanía de los espacios celestes infinitos, se nos antoja singular, específica, diferente de las imágenes de los restantes cuerpos del Universo.

La faz de la Tierra revela la superficie de nuestro planeta, su *biosfera*, sus regiones externas, unas regiones que la separan del medio cósmico. La faz terrestre se torna visible gracias a los rayos luminosos de los astros que inciden sobre ella —los rayos solares, prioritariamente—. Recibe, desde todos los puntos del espacio, un sinnúmero de radiaciones diversas, de entre las cuales los rayos luminosos del espectro visible sólo constituyen una porción insignificante. Hasta la fecha únicamente conocemos una pequeña parte de la zona no-visible del espectro. Apenas estamos comenzando a vislumbrar su variedad, a comprender cuán imperfectas e incompletas son nuestras representaciones del universo de las radiaciones que nos circundan, que nos afectan en la biosfera. Apenas estamos comenzando a estimar su importancia crucial en los procesos ambientales, una importancia a la que accede con dificultad nuestro pensamiento, amoldado a unas concepciones distintas del Universo.

Las radiaciones de ese medio inmaterial afectan no sólo a la biosfera, sino a cualquier espacio que podamos representarnos mentalmente y nos resulte imaginable. Las radiaciones, cuyas longitudes de onda fluctúan de diez millonésimas de milímetro hasta unas medidas expresadas en kilómetros, se propagan a nuestro alrededor, en nuestro interior, sin cesar, por doquier; chocan entre sí, se suceden las unas a las otras, confluyen.

Todo el espacio rebosa de ellas. Nos resulta arduo, quizá impracticable, concebir con una imagen nítida el *medio cósmico del Universo*, donde se desenvuelve nuestra existencia y donde aprendemos, según se perfeccionan nuestros métodos de investigación, a distinguir y a medir, en el mismo lugar y en el mismo instante, radiaciones siempre nuevas.

La alternancia constante de estas radiaciones que invaden el espacio diferencia claramente este medio cósmico, desprovisto de materia, del espacio ideal de la geometría.

Son radiaciones de diversos órdenes. Desvelan los cambios del medio y la presencia de los cuerpos materiales que lo ocupan. Una parte de tales ra-

diciaciones se manifiesta, como energía, por la *transición entre los diferentes estados* de la misma. Ahora bien, paralela y simultáneamente, se produce en el mismo espacio cósmico otra radiación, que suele propagarse a una velocidad similar, la *radiación de las partículas* que se desplazan rápidamente y entre las cuales, además de las partículas materiales, las más estudiadas son los electrones, unidades básicas de la electricidad, componentes de la materia y del átomo.

Se trata de las dos caras del mismo fenómeno; existen niveles de energía diferentes. La transición entre los estados se realiza mediante el movimiento de los conjuntos, quanta, electrones, cargas. El movimiento de cada elemento por separado viene dictado por los conjuntos; por sí mismos pueden conservar su estado inicial.

La radiación de las partículas es la manifestación de la transmisión de los elementos separados de los conjuntos. Estas partículas, así como las radiaciones que vienen determinadas por la transición entre los estados, pueden atravesar los cuerpos materiales que configuran el Universo. A tales partículas en movimiento cabe atribuirles los cambios de los fenómenos observables en el medio donde penetran, convirtiéndose en una fuente de transformaciones tan potentes como las formas de la energía.

2. Nuestros conocimientos sobre el particular están aún en ciernes y, por ahora, prescindiremos de la radiación de las partículas en el área de los fenómenos geoquímicos de la biosfera.

Por el contrario, tendremos siempre presentes, en todos nuestros planteamientos, las radiaciones producidas por la transición entre los estados que, a nuestro entender, son modalidades de energía. A tenor de la forma de los rayos, especialmente de las longitudes de onda, dichas radiaciones se materializarán ya como luz, ya como calor o como electricidad, y transmutarán diversamente el medio material, nuestro planeta y sus cuerpos importantes.

Si tomamos como referencia la longitud de onda, descubriremos una región inmensa de tales radiaciones. Dicha región abarcaría en la actualidad unas cuarenta octavas. Nos haremos una idea exacta de la magnitud citada si puntualizamos que la parte visible del espectro solar no representa más que una octava.

Evidentemente, esta concepción no basta aún para abrazar el universo entero, para conocer todas estas octavas. Merced al progreso de la creación científica, no deja de ampliarse incesantemente la región de tales radiaciones. Hasta la fecha sólo un número exiguo de las cuarenta octavas, cuya existencia no ofrece lugar a dudas, está registrado en nuestro pensamiento, inscrito en nuestras representaciones científicas habituales del Cosmos.

Las radiaciones cósmicas interceptadas por nuestro planeta (que, como veremos, crean su biosfera) no corresponden más que a cuatro octavas y media de las cuarenta conocidas. La ausencia de las restantes en el espacio mundial es, a todas luces, improbable; su ausencia, a nuestro juicio, es aparente y la explicamos por la absorción de las radiaciones en el medio material enardecido de las capas altas de la atmósfera terrestre.

Para las radiaciones cósmicas más familiares (los rayos solares), calculamos una octava de rayos luminosos, tres octavas de rayos térmicos y media octava de rayos ultravioletas. Sin duda la última media octava es un pequeño remanente de los rayos que no ha filtrado la estratosfera (cf. 115).

3. Las radiaciones cósmicas vierten permanentemente sobre la superficie terrestre una corriente de fuerzas que confieren un carácter absolutamente nuevo y singular a las zonas del planeta que lindan con el espacio cósmico.

Como consecuencia de tales radiaciones, la estructura de la biosfera asume propiedades nuevas, específicas, desconocidas para la materia terrestre. La faz de la Tierra correspondiente en el medio cósmico muestra un panorama nuevo de la superficie terrestre, modificada por las fuerzas cósmicas.

La *materia de la biosfera* penetrada por la energía transmitida se torna *activa*: almacena y distribuye en la biosfera la energía que recibe bajo la forma de radiaciones y termina por transmutarla en energía libre, apta para desarrollar trabajo en el medio terrestre.

Así, esta epidermis terrestre no debe contemplarse escuetamente como la sede de la materia; es una región de energía, una fuente de transformación planetaria gracias a las fuerzas cósmicas externas.

Dichas fuerzas alteran la faz de la Tierra; en gran medida, la moldean. Esta faz significa algo más que el reflejo de nuestro planeta, la manifestación de su materia y su energía: también es una creación de las fuerzas cósmicas externas.

En virtud de lo expuesto, la historia de la biosfera se distingue claramente de la historia de las restantes capas del planeta, desempeñando la primera un papel excepcional en el mecanismo de éste.

La biosfera es (como mínimo) tanto *la creación del Sol* como la manifestación de procesos terrestres. Las intuiciones religiosas de antaño que equiparaban a las criaturas terrestres (en particular, a los hombres) con *hijos del Sol* se aproximaban mucho más a la verdad de lo que sospechan hoy quienes ven exclusivamente en los seres de la Tierra el producto de una creación efímera, el juego ciego y fortuito de la transformación de la materia y de las fuerzas terrestres.

Las criaturas terrestres representan el fruto de un proceso cósmico dilatado y complejo. Constituyen una parte necesaria, sometida a unas leyes

determinadas, de un mecanismo cósmico armonioso donde, como ya sabemos, el azar está excluido.

4. A la conclusión anterior nos conducen también nuestras concepciones de la *materia* que configura la biosfera, unas concepciones que, en los últimos años, están variando sustancialmente. Si las tomamos como referencia, descubriremos en ellas, inequívocamente, la manifestación del mecanismo cósmico.

No pretendemos afirmar que esto se deba al hecho de que una parte de la materia de la biosfera, la mayor quizá, de origen no terrestre, haya penetrado desde afuera, desde los espacios cósmicos. Pues en lo que atañe a su estructura interna, somos incapaces de diferenciar esta materia foránea (polvo cósmico y meteoritos) de la materia terrestre.

El carácter sorprendente de la materia terrestre, que comenzamos ahora a descubrir, sigue resultándonos en gran medida oscuro e insondable. Aún carecemos de nociones claras y globales; no obstante, nuestros conocimientos sobre el tema experimentan tamaños cambios y cuestionan hasta tales extremos toda nuestra comprensión de los fenómenos geológicos que es menester nos detengamos sobre el particular y abordemos este campo de los fenómenos terrestres.

La identidad estructural de la materia cósmica —que llega hasta nosotros— con relación a la terrestre no afecta exclusivamente a los confines de la biosfera, la delgada epidermis del planeta. Dicha estructura permanece idéntica en toda la corteza, en el manto de la litosfera, cuyo espesor suma 60 kilómetros y cuya capa externa, la biosfera, va confundándose, inseparable y gradualmente, con aquella (cf. 89).

La materia de las zonas más profundas del planeta sin duda se caracteriza también por el mismo rasgo, aun cuando difiera su composición química. Ahora bien, como nunca parece aflorar en masas suficientemente representativas hasta la corteza, podemos obviarla a la hora de estudiar los fenómenos observados en la biosfera.

5. Durante mucho tiempo se ha tenido por cierto el hecho de que la composición química de la corteza terrestre dependía de causas estrictamente geológicas; que era el resultado de la acción recíproca de múltiples y variados fenómenos geológicos, grandiosos los unos, insignificantes los otros.

Se intentaba explicar su composición mediante la acción convergente de los fenómenos geológicos que observamos todavía hoy en el entorno: por la acción química y disolvente de las aguas, la atmósfera, los organismos, las erupciones volcánicas, etc. La composición química actual de la corteza terrestre, cuantitativa y cualitativamente, parecería deberse a la acción conjunta de los procesos geológicos inalterados a lo largo de todos los

tiempos geológicos, además de a la persistencia de las propiedades de los elementos químicos en el curso completo de dichos tiempos.

Una teoría semejante entrañaba muchos problemas; simultáneamente se difundían ideas, aún más complicadas, sobre alteraciones en la composición de la corteza causadas por diversos fenómenos geológicos durante esos mismos períodos. Se intentó explicar dicha composición como un vestigio de las primeras eras de la historia de la Tierra, sin parangón con los períodos actuales. Se empezó a considerar la corteza terrestre como una escoria transformada de la masa antaño incandescente de nuestro planeta, una escoria que se depositó en la superficie conforme a las leyes de la distribución de los elementos químicos por las que se rigen las masas incandescentes cuando, tras bajar la temperatura, empiezan a consolidarse. Para argüir el predominio de elementos químicos comparativamente ligeros en la corteza, se aludía a las eras aún más remotas de la historia de la Tierra, previas a la formación de la corteza, a los períodos cósmicos. Se estimaba que, en la era de formación de la masa incandescente de la Tierra, nacida de una nebulosa, los elementos químicos más pesados se acumulaban en torno al núcleo.

En las representaciones en cuestión se relaciona la composición de la corteza con los fenómenos geológicos. La participación de los elementos químicos se efectúa por sus propiedades cuando dan lugar a compuestos; por su peso atómico en el caso de temperaturas altas, cuando todos los compuestos se tornan inestables.

6. Las leyes sobre la composición química de la corteza terrestre que están estableciéndose contradicen, de modo radical, las explicaciones precedentes. Al mismo tiempo, la apreciación general de la composición química de todos los restantes astros desvela una complejidad, una diversidad y una regularidad en tal composición previamente inimaginables.

En la composición de nuestro planeta, de la corteza en particular, hallamos señales de la existencia de unos fenómenos que trascienden ampliamente sus límites. Para captarlos, es menester que nos distanciamos del ámbito de los fenómenos terrestres, incluso de los planetarios, y atendamos a la composición de toda la materia cósmica, a sus átomos, a la modificación de los mismos en los procesos cósmicos. Varios indicios, apenas entrevistos por el pensamiento teórico, se acumulan en nuestras mentes con celeridad. Estamos vislumbrando su importancia. No siempre resulta factible formularlos con nitidez y precisión y generalmente no extraemos de ellos las deducciones que comportan.

No podríamos, sin embargo, desestimar la enorme importancia de estos fenómenos. Hay que valorar las consecuencias imprevistas que se derivan de los nuevos datos. Ya estamos facultados para destacar tres órdenes de dichos fenómenos: 1.º la situación particular que ocupan los elementos

químicos de la corteza terrestre en el sistema periódico de Mendeleiev; 2.º la complejidad de los mismos; 3.º la falta de uniformidad en su distribución. Así, en primer lugar, los elementos químicos que corresponden a los números atómicos pares prevalecen claramente en la materia de la corteza (M. Oddo, 1914). Nos resulta imposible explicar este fenómeno recurriendo a las causas geológicas conocidas. Por lo demás, después ha adquirido evidencia la manifestación aún más contundente del mismo hecho en el caso de los únicos cuerpos cósmicos extraterrestres accesibles al estudio científico inmediato, los meteoritos (M. Harkins, 1917).

Los otros dos órdenes de hechos quizá sean más impenetrables todavía. Los esfuerzos realizados para dárles una explicación geológica (J. Thomson, 1921) incurrir en contradicción con los hechos establecidos. No alcanzamos a comprender la inmutable complejidad de los elementos químicos terrestres, las relaciones fijas y constantes que existen, además de la cantidad de isótopos que intervienen. El estudio de los isótopos en los elementos químicos que constituyen los meteoritos ha demostrado la identidad de su mezcla en estos cuerpos, unos cuerpos totalmente distintos de los terrestres por su historia y por su posición en el Cosmos.

Se hace patente la imposibilidad de explicar la composición de la corteza terrestre y de nuestro planeta, una composición sometida a unas leyes fijas, recurriendo a los fenómenos geológicos, a las fases cósmicas de su historia, tal como se había venido creyendo. Estos fenómenos no explican ni la similitud de estas partes más profundas con la composición de los meteoritos, ni la supremacía relativa observada de elementos químicos más ligeros y de elementos de hierro —comparativamente pesado— al mismo tiempo. La hipótesis de que los elementos se distribuirían conforme a su peso —los más pesados, más próximos al núcleo, cuando se formó la Tierra a partir de la nebulosa— no se corresponde con los hechos. No es ni en los fenómenos geológicos o químicos ni en la historia de la Tierra, sin más, donde nos compete buscar las causas.

Las raíces del fenómeno son más profundas: hay que rastrearlas en la historia del Cosmos, probablemente en la estructura de los elementos químicos.

Dicho enfoque acaba de confirmarse, bajo aspectos novedosos e inesperados, con el descubrimiento de la analogía entre la composición de las partes externas de la Tierra (esto es, de su corteza) y la del Sol y las estrellas. Ya en 1914, M. Russel había señalado las afinidades entre la composición de la corteza terrestre y la de la superficie solar, al alcance de nuestro estudio. Tales similitudes logran una evidencia aún mayor en los trabajos recientes sobre el espectro de las estrellas. Las investigaciones de C. Payne (1925) brindan el siguiente cuadro de la sucesión de los elementos químicos estelares en orden decreciente:

Si - Na - Mg - Al - C - Ca - Fe  
(más de 1 por 100; primera década)

Zn - Ti - Mn - Cr - K

(más de 0,1 por 100; segunda década).

Se detecta una clara analogía con la sucesión, sujeta al mismo orden, de los elementos químicos de la corteza terrestre:

O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg.

Los trabajos reseñados recogen unos primeros resultados obtenidos en un nuevo campo ampliado de fenómenos; a partir de ahora, sin embargo, no podremos soslayarlos, ni ignorar el dato de que esos primeros resultados corroboran, de manera aún más consistente, la analogía observada en la composición de las capas externas de unos cuerpos celestes tan dispares como la Tierra, el Sol y las estrellas.

Las zonas exteriores de los cuerpos celestes mantienen una relación de contacto con el medio cósmico y se influyen mutuamente mediante sus respectivas radiaciones.

Probablemente se imponga buscar la explicación de tal fenómeno en el intercambio material que se produce entre estos cuerpos y que, según todos los indicios, sobreviene en el Cosmos.

En cuanto a las zonas más profundas de los cuerpos celestes, se perfila, al parecer, un panorama distinto. La composición de los meteoritos y de las masas internas de la Tierra se diferencia sustancialmente de la composición de las capas terrestres externas.

7. Así experimenta un giro brusco el modo en que concebimos la composición de nuestro planeta y, en concreto, la composición de la corteza y de su capa envolvente, la biosfera. Empezamos a comprender que no asistimos meramente a un fenómeno planetario o terrestre, sino a la manifestación de la estructura de los átomos y de su situación en el Cosmos, de su evolución a lo largo de la historia de éste.

Aun cuando no estemos facultados para explicar dichos fenómenos, hemos descubierto la vía para lograrlo; hemos cruzado hasta un nuevo campo de fenómenos, distinto de aquél con el que nos hemos esforzado por relacionar la química terrestre durante tantos años.

Sabemos *dónde* se requiere investigar la solución del problema que tenemos planteado y *dónde* sería inútil intentarlo. Nuestra comprensión de los hechos observados se modifica radicalmente.

En la fina epidermis de nuestro planeta nos compete, pues, buscar el reflejo no sólo de unos fenómenos geológicos aislados y fortuitos, sino la manifestación de la estructura del Cosmos ligada a la estructura y a la historia de los átomos, de los elementos químicos en un sentido amplio.

Los fenómenos que acontecen en la biosfera no pueden suministrarnos, por sí solos, una representación de la misma, prescindiendo del lazo evidente que la vincula con la estructura de todo el mecanismo cósmico.

Estableceremos tal lazo basándonos en los múltiples hechos de su historia.

#### La Biosfera como región donde se transforma la energía cósmica

8. Por sus rasgos intrínsecos, la biosfera puede definirse como una región de la corteza terrestre sembrada de transformadores que convierten las radiaciones cósmicas en energía terrestre activa, energía eléctrica, química, mecánica, térmica, etc. Las radiaciones cósmicas procedentes de todos los astros circundan la biosfera, la atraviesan por completo, así como todo lo que radica en ella. Detectamos y percibimos solamente un porcentaje exiguo de dichas radiaciones y, entre las mismas, casi exclusivamente los rayos solares.

Con todo, es inequívoca la existencia de ondas que siguen otros recorridos, que se originan en los espacios más remotos del Cosmos. Tales ondas inciden en nuestro planeta. Las estrellas y las nebulosas emiten radiaciones específicas de manera constante. Todo nos lleva a suponer que los rayos penetrantes descubiertos por V. F. Hess en las capas altas de la atmósfera provienen de unos confines que rebasan los del sistema solar. Se indaga su origen en la Vía Láctea, en las nebulosas, en las estrellas del tipo Mira Ceti.

A los científicos del futuro les incumbirá evaluar su importancia. A nosotros nos cabe anticipar, sin embargo, que los rayos solares, y no los más distantes, son los que determinan los principales rasgos del mecanismo de la biosfera.

El simple estudio de cómo influye la radiación solar en los procesos terrestres nos permite contemplar ya en una primera aproximación —que no pierde, por ello, su cualidad precisa y profunda científicamente hablando— a la biosfera como un *mecanismo a la par terrestre y cósmico*. El Sol ha transformado por completo la faz de la Tierra; sus rayos han atravesado la biosfera, la han calado. En una gran medida la biosfera es la materialización de tales rayos, es un mecanismo planetario que los convierte en unas formas nuevas y diversas de la energía terrestre libre; una energía que altera de raíz tanto la historia como el destino de nuestro planeta.

En la actualidad nos consta cuán relevante es el papel que desempeñan en la biosfera las ondas cortas ultravioletas de la radiación solar y la función esencial que cumplen las ondas largas infrarrojas y las ondas medias del espectro visible de la luz. Por otro lado, nos hallamos también en condiciones de deslindar, en la estructura de la biosfera, qué partes actúan

como transformadores respecto de los tres sistemas distintos de vibraciones solares.

Paulatinamente, y a base de superar escollos, vamos aprehendiendo el mecanismo de transformación de la energía solar en fuerzas terrestres dentro de la biosfera. Los fenómenos en virtud de los cuales este mecanismo se manifiesta y que, por rutina, enfocamos desde otra óptica, se nos ocultan bajo la infinita variedad de colores, formas y movimientos propios de la Naturaleza, de la que somos parte integrante en nuestra calidad de seres vivos.

Han tenido que transcurrir milenios para que nuestro pensamiento se haya mostrado capaz de detraer las líneas maestras de un mecanismo único y finito, enmascarado tras el espectáculo aparentemente caótico de la Naturaleza.

9. La transformación de los tres sistemas de ondas solares en energía terrestre acontece, en parte, en las mismas regiones de la biosfera. Algunas regiones, no obstante, se caracterizan por la prevalencia de transformaciones de una clase específica de ondas. Los transformadores siempre son cuerpos naturales, radicalmente distintos si se trata de ondas ultravioletas, de rayos luminosos o de ondas térmicas.

Determinadas *ondas cortas solares ultravioletas* son absorbidas en su totalidad; otras lo son, mayoritariamente, en las regiones enrarecidas superiores de la cobertura gaseosa de la Tierra —en la *estratosfera* y quizá en la «atmósfera libre», todavía más alta y más pobre en átomos.

Este filtrado de las ondas cortas por la atmósfera, esa «absorción», se relaciona con la transformación de su energía. Bajo el impacto de las radiaciones ultravioletas, en estas altas regiones se observan alteraciones en los campos electromagnéticos, descomposiciones de moléculas, diversos fenómenos de ionización, creaciones nuevas de moléculas gaseosas, nuevos compuestos químicos. La energía radiante, por un lado, genera unas manifestaciones eléctricas y magnéticas polimorfas y, por otro lado, unos singulares procesos químicos, moleculares y atómicos, propios de los estados gaseosos enrarecidos de la materia —unos procesos que se vinculan con dicha energía—. Estas regiones y estos cuerpos se nos presentan con el aspecto de auroras boreales, de resplandores, de luz zodiacal, de destellos de la bóveda celeste —destellos exclusivamente apreciables en las noches oscuras, aunque compongan la iluminación principal del cielo nocturno— bajo la apariencia de nubes luminosas y de otros varios reflejos de la estratosfera y de los rebordes del planeta en la imagen de nuestro mundo terrestre visible. Nuestros instrumentos descubren tal mundo misterioso de fenómenos, con su movimiento perpetuo y de una variedad que supera lo imaginable en sus reflejos eléctricos, magnéticos, radioactivos, químicos y espectroscópicos.

Los fenómenos citados no son el mero resultado de la modificación del medio terrestre por los rayos ultravioletas. Admitiremos aquí un proceso más complejo. Todas las formas de la energía radiante del Sol, aparte de las cuatro octavas y media que atraviesan la biosfera (cf. 2), son «retenidas» en su seno; es decir, transmutadas en nuevos fenómenos de índole ya terrestre. Cabe preguntarse si estos límites son verdaderamente rebasados por las nuevas fuentes de energía —a saber, por los parentescos haces de las partículas, los electrones perpetuamente emitidos por el Sol—, así como por las partículas materiales, polvo cósmico y cuerpos gaseosos, también permanentemente atraídos por las fuerzas de la gravitación terrestre.

La comunidad científica adquiere progresivamente conciencia del importante papel que cumplen tales fenómenos en la historia de nuestro planeta. Su relevancia ha quedado fuera de discusión en el caso de otra modalidad de transformación de la energía cósmica, la región de la materia orgánica. Existen radiaciones absolutamente nocivas para la vida en cualquiera de sus manifestaciones. Las radiaciones cuya longitud de onda se sitúa en el intervalo de 180 a 200 picómetros destruyen, sin excepción, a los organismos. Las ondas más largas o más cortas resultan inofensivas. La esfera intercepta íntegramente las ondas cortas dañinas y, de esta suerte, protege las capas inferiores de la superficie terrestre, donde se expande la vida.

La absorción máxima de estos rayos va específicamente ligada al ozono (pantalla de ozono, cf. 115), cuya formación está determinada por la presencia del oxígeno libre, producto de la vida.

10. Si estamos comenzando a vislumbrar la importancia de la transformación de los rayos ultravioletas, la función del calor solar —en concreto, de los rayos infrarrojos— cuenta, por el contrario, con un reconocimiento que data de antiguo. Esta función reclama la atención sobre todo cuando se estudia la influencia del Sol en los procesos geológicos e incluso geográficos. Es claro e incontestable el protagonismo de la irradiación de calor por parte del Sol en el capítulo de la existencia de la vida. La transformación de la energía térmica, que emana del Sol, en energía mecánica, molecular (evaporación, etc.), química, tampoco ofrece lugar a dudas.

Dichas transformaciones son observables por doquier; huelgan pues los comentarios. Se revelan en la vida de los organismos, en el movimiento y en la actividad de los vientos o de las corrientes marinas, en las olas o en la resaca, en la erosión de las rocas y en la acción de los glaciares, en el fluir de los ríos y en su génesis, así como en el trabajo colosal que implica, para la Naturaleza, almacenar nieve y lluvia.

Por lo general reparamos menos en el hecho de que las partes líquidas y gaseosas de la biosfera acumulan y distribuyen calor. Olvidamos su función de transformadores de la energía radiante y térmica del Sol. Es una

tarea a cargo de la atmósfera, los Océanos, los lagos, los ríos, las lluvias y las nieves. El Océano mundial, dadas las propiedades térmicas del agua (propiedades específicas peculiares, probablemente debidas al carácter de las moléculas), cumple la función de regular el calor, un papel de primer orden que se traduce incesantemente en los innumerables fenómenos climáticos y estacionales, así como en los fenómenos de los procesos vitales y de la alteración superficial concomitantes.

El Océano se calienta rápidamente por su gran calor específico, pero restituye lentamente el calor acumulado porque no es un buen conductor térmico. Convierte el calor de irradiación absorbido en energía molecular a través de la evaporación; en energía química, merced a la materia orgánica que lo habita; en energía mecánica, gracias a sus rompientes y a las corrientes marinas. El papel térmico de los ríos, de los meteoros, de los vientos, del calentamiento y del enfriamiento al que están sometidos, adquiere unos perfiles y un alcance análogos.

11. Los rayos ultravioletas y los infrarrojos influyen de manera indirecta en los procesos químicos de la biosfera. En ellos no residen las fuentes básicas de su energía. Es el conjunto de los organismos vivos de la Tierra, la *materia viva*, la que transforma la energía radiante del Sol en energía química de la biosfera (en su forma activa). La materia viva crea en la biosfera, por la fotosíntesis, por los rayos solares, un sinnúmero de nuevos compuestos químicos, millones de diferentes combinaciones de átomos. La materia viva, constantemente y a una velocidad inconcebible, recubre la biosfera con una gruesa capa de sistemas moleculares nuevos, originando fácilmente compuestos distintos, ricos en energía libre en el campo termodinámico de la biosfera. Tales compuestos, de carácter inestable, se convierten continuamente en nuevas modalidades de equilibrio estable.

Esta clase de transformadores suponen un mecanismo totalmente singular si los comparamos con los cuerpos terrestres, campos donde se transforman las ondas cortas y largas de la radiación solar. Explicamos la transformación de los rayos ultravioletas en función de cómo actúan sobre la materia, sobre los sistemas atómicos configurados al margen de aquéllos. En lo que atañe a las transformaciones de las radiaciones térmicas, las relacionamos con las construcciones moleculares que han surgido sin que ellas intervengan. En cambio la fotosíntesis, tal cual la conocemos en la biosfera, está ligada a unos mecanismos particulares complejos, *creados por la propia fotosíntesis*. No obstante, la fotosíntesis únicamente se desencadena si concurren, en el entorno, la manifestación y la transformación de los rayos ultravioletas e infrarrojos del Sol en energía terrestre activa.

Los organismos vivientes, mecanismos transformadores de energía, son unas formaciones de una especie definida, con una diferenciación nítida frente a todos los sistemas atómicos, iónicos o moleculares que constituyen



la materia de la corteza terrestre al margen de la biosfera, así como una parte de la materia de esta última.

Las estructuras de los organismos vivos presentan un paralelismo con las de la materia inerte, aunque revisten mayor complejidad. Ahora bien, dados los cambios que tales organismos provocan en los procesos químicos de la biosfera, cabe considerarlos como nuevos conjuntos de estas estructuras. Su carácter energético, tal cual se revela cuando se multiplican, no es comparable desde un punto de vista geoquímico con las estructuras inertes que configuran la materia inorgánica, así como la materia viva.

Desconocemos el mecanismo de la acción química de la materia orgánica. No obstante, estaríamos comenzando a comprender que la fotosíntesis, desde la vertiente de los fenómenos energéticos, se produce en la materia viva, además de en un medio químico particular, en un campo termodinámico específico, distinto del campo de la biosfera. Los compuestos que eran estables en el campo termodinámico de la materia viva se tornan inestables cuando penetran, una vez que perece el organismo, dentro del campo termodinámico de la biosfera, donde originan una fuente de energía libre<sup>1</sup>.

### Generalización empírica e hipótesis

12. Al parecer, una comprensión semejante de los fenómenos energéticos de la vida, tal cual se hacen patentes en los procesos geoquímicos, ofrece una explicación bastante exacta de los hechos observados. Con todo no podríamos corroborarlo, habida cuenta del estado de nuestros conocimientos en el área de las ciencias biológicas comparado con el de las ciencias que versan sobre la materia inerte.

Nos consta que, en el ámbito de las últimas citadas, también hemos debido renunciar a las ideas tradicionales sobre la biosfera y la composición de la corteza terrestre, que muchas generaciones creyeron acertadas; hemos tenido que desechar las explicaciones de índole exclusivamente geológica, largo tiempo imperantes (cf. 6).

El enfoque que se había juzgado lógico y científicamente necesario venía a ser un espejismo y el fenómeno se nos ha desvelado bajo un aspecto que a todos nos ha sorprendido.

En el ámbito de la biología se complica todavía más la situación, puesto que quizá no exista otro campo de las ciencias naturales donde sus principios se hallen tan imbuidos de construcciones filosóficas y religiosas, ajenas a la ciencia por su propio origen. Las búsquedas y las respuestas de la

filosofía y de la religión interceptan, a cada paso, nuestras ideas sobre el organismo vivo. Todas las tesis de los naturalistas más rigurosos se han visto mediatizadas, en el transcurso de los siglos, por el hecho de que al Cosmos lo hayan abarcado unas concepciones del pensamiento humano que, aun siendo de una categoría ocasionalmente científica, no dejan de ser valiosas y profundas en aras de su misma esencia. En consecuencia, dentro de este campo de fenómenos ha prevalecido siempre una gran dificultad a la hora de salvaguardar los procedimientos de investigación científica respetados en los restantes ámbitos.

13. Las dos representaciones dominantes de la vida, la vitalista y la materialista, reproducen ideas filosóficas y religiosas del mismo orden, en lugar de reflejar deducciones extraídas de hechos científicos. Ambas representaciones interfieren el estudio de los fenómenos implicados y perturban las generalizaciones empíricas.

Las representaciones vitalistas explican los fenómenos de la vida apartándose de los modelos a cuyo tenor levantamos, por generalización científica, el edificio del Cosmos. El carácter de tales representaciones anula su creatividad intrínseca dentro del ámbito científico y las vuelve estériles. Las representaciones materialistas, que se limitan a aprehender en los organismos vivos un mero juego de las fuerzas físico-químicas, no resultan menos funestas. Restringen el campo de la investigación científica al predevenir su resultado final. Al introducir la adivinación, nublan la comprensión científica. Al socaire de una adivinación acertada, la elaboración científica se habría liberado en seguida de todas las trabas. Pero la adivinación se apegaba en demasía a unas construcciones filosóficas abstractas, muy distantes de la realidad que estudiaba la ciencia. Dichas construcciones inducían a unas representaciones de la vida excesivamente simplistas y suprimían la noción de complejidad de los fenómenos. Semejante adivinación, hasta la fecha, no ha fecundado nuestra comprensión de la vida.

Por tanto consideramos fundamentada la propensión, cada vez más acusada en el campo de las investigaciones científicas, a renunciar a ambos enfoques para explicar la vida; a estudiar sus fenómenos de acuerdo con unos procedimientos estrictamente empíricos; a aceptar la imposibilidad de desentrañarla, esto es, de asignarle una posición en nuestro Cosmos abstracto, un edificio científicamente erigido a base de modelos e hipótesis.

Actualmente sólo nos cabe abordar, con alguna garantía de éxito, los fenómenos relacionados con la vida desde un enfoque empírico, sin supeditarlos a las hipótesis. Es la única vía para descubrir nuevos rasgos en tales fenómenos, unos rasgos que ampliarán el ámbito de las fuerzas físico-químicas que conocemos o que introducirán en éste (en conjunción con los principios constructores de nuestro universo científico) un principio o un axioma nuevos, un concepto nuevo, que no puedan ser totalmente probados ni deduci-

<sup>1</sup> El ámbito de los fenómenos en el seno del organismo («el campo biológico») se diferencia, desde los enfoques termodinámico y químico, del «campo» de la biosfera.

dos a partir de los axiomas y de los principios actualmente disponibles. Entonces será factible, en función de hipótesis nuevas, relacionar estos fenómenos con nuestras construcciones del Cosmos, de modo análogo a como la radioactividad las había vinculado con el mundo de los átomos.

14. La materia viva de la biosfera ha de estudiarse hoy empíricamente, como un cuerpo particular irreductible, en algún grado, a los sistemas físico-químicos conocidos. La ciencia no se halla en situación de hacer precisiones al respecto, pero tal empresa no parece irrealizable. Al estudiar empíricamente los fenómenos naturales, tampoco debemos descartar otra posibilidad: este problema planteado por tantos científicos eminentes podría ser una quimera. Con frecuencia nos asedian dudas similares en el ámbito de la biología.

En las ciencias geológicas, más aún que en las biológicas, hemos de mantenernos en un terreno meramente empírico, rehuendo las representaciones materialistas y vitalistas.

En una de sus disciplinas integrantes, la geoquímica, nos topamos sin cesar con los fenómenos de la vida. En esta área, los organismos bajo la forma de entidades, los seres vivos, actúan como protagonistas.

La materia orgánica confiere a la biosfera un aspecto absolutamente extraordinario, hasta la fecha singular en el Universo. Se impone la distinción entre dos tipos de materia, la *viva* y la *inerte*, que se influyen mutuamente. Ahora bien, las separan, mediante un abismo infranqueable, determinados rasgos básicos de su correspondiente historia geológica. Jamás se ha cuestionado que ambos tipos de materia desemejantes de la biosfera pertenecen a unas categorías de fenómenos dispares, irreconciliables en una categoría única.

La prevalencia de una disimilitud fundamental (que parece inmutable) entre la materia viva y la inerte puede entenderse como un axioma, que quizá se consolidará en un futuro<sup>2</sup>. Actualmente no estamos en condiciones de otorgarle ese rango, pero nos domina la certeza de que tal principio merece ser considerado como una de las grandes generalizaciones de las ciencias naturales.

Frecuentemente olvidamos el alcance de una generalización de este orden, como suele suceder con el alcance de las generalizaciones empíricas dentro del campo científico; por lo común, dado el impacto de las construcciones filosóficas, se identifican rutinariamente con las hipótesis científicas. Cuando nuestro objeto de estudio recae en los fenómenos de la vida, fuerza es que rechacemos tal hábito pernicioso y arraigado.

<sup>2</sup> El giro que actualmente experimentan nuestras ideas en el plano de los axiomas matemáticos repercutirá, sin duda, en la interpretación de los axiomas de las ciencias naturales, axiomas menos elaborados por el pensamiento filosófico crítico.

15. Hay una discrepancia notable entre las generalizaciones empíricas y las hipótesis científicas; no es comparable la exactitud de sus correspondientes deducciones.

En ambos casos —generalizaciones empíricas e hipótesis científicas—, utilizamos la deducción para llegar a unas conclusiones, que verificamos recurriendo al estudio de los fenómenos reales. En una ciencia de carácter histórico como la geología, se procede a tal verificación mediante la observación científica.

La discrepancia entre unas y otras obedece a que la generalización empírica se apoya en datos acumulados por el método inductivo: *tal generalización no traspasa los límites de los hechos y se desentiende de que exista, o no exista, una concordancia entre la conclusión extraída y nuestras representaciones de la Naturaleza*. Desde esa perspectiva, no hay diferencia entre la generalización empírica y el hecho científicamente establecido; nos preocupamos de que concuerden con nuestras representaciones científicas de la Naturaleza, pero si se produjera una divergencia, hablaríamos de *un descubrimiento científico*.

A pesar de que determinados factores en los fenómenos estudiados adquieren un rango prioritario en las generalizaciones empíricas, la influencia de todos los restantes aspectos del fenómeno nunca dejará de percibirse.

La generalización empírica puede formar parte de la ciencia durante largo tiempo sin que la explique hipótesis alguna. Puede seguir siendo oscura y ejercer, no obstante, una influencia considerable y productiva de cara a la comprensión de los fenómenos naturales.

Sobreviene un momento, sin embargo, en que una luz nueva esclarece repentinamente dicha generalización. Se convierte en el terreno donde se generan hipótesis científicas; empieza a modificar nuestros esquemas sobre el Universo y a modificarse a su vez. Entonces suele comprobarse que la generalización empírica no abarcaba en realidad todo lo que le habíamos atribuido, o que su contenido era bastante más rico. Un ejemplo ilustrativo puede constituirlo la historia de la gran generalización de D. J. Mendeleiev (1869) a propósito del sistema periódico de los elementos químicos que, después de 1915 (año del descubrimiento de J. Moseley), se ha convertido en un campo ampliado de la actividad de las hipótesis científicas.

16. La hipótesis o la construcción teórica se fragua de un modo radicalmente distinto. Se atiende a una sola propiedad, o a un número reducido de propiedades fundamentales, prescindiendo de las restantes y se erige la representación del fenómeno en función de tal base sucinta. La hipótesis científica siempre trasciende —en ocasiones, marcadamente— los límites de los hechos que la sustentan; por consecuencia, para lograr la validez necesaria, está abocada a relacionarse, en el mayor grado posible, con todas las

construcciones teóricas imperantes sobre la Naturaleza *sin incurrir en con-*  
*tradición con las mismas.*

17. *La generalización empírica no exige, pues, ser verificada después de haber sido deducida con rigor de los hechos.* Las páginas que siguen se ajustan a generalizaciones empíricas de esta clase, que se asientan en el cuerpo de los hechos conocidos y no sobre hipótesis y teorías. He aquí los principios que van a regir nuestro estudio:

1.º Durante la totalidad de los períodos geológicos, nunca han existido, como tampoco existen hoy, huellas de abiogénesis (es decir, de la creación inmediata de un organismo vivo a partir de la materia inerte).

2.º En el curso de los tiempos geológicos, jamás se han observado períodos geológicos azoicos (es decir, exentos de vida).

3.º De lo anterior se infiere: a) que la materia viva contemporánea se une, con un lazo genético, a la materia viva de todas las eras geológicas precedentes; b) que las condiciones del medio terrestre, en el transcurso de todos los tiempos, han sido siempre adecuadas para la vida; es decir, han sido siempre similares a las actuales.

4.º En el curso de todos estos tiempos geológicos, la influencia química de la materia viva sobre el entorno no ha experimentado oscilaciones importantes; en el curso de todos estos tiempos se han desarrollado procesos idénticos de alteración superficial en la corteza; es decir, hemos comprobado la misma composición química media, que la actual, de la materia orgánica y de la corteza terrestre.

5.º De la inmutabilidad de los procesos de alteración superficial se infiere la inmutabilidad del número de átomos implicados en la vida; es decir, la práctica invariabilidad de la masa global de materia viva en el transcurso de los tiempos geológicos<sup>3</sup>.

6.º Cualesquiera que fueren los fenómenos relacionados con la vida, la energía liberada por los organismos es básicamente —y quizá íntegramente— la energía radiante del Sol. Gracias al concurso de los organismos, dicha energía regula las manifestaciones químicas de la corteza terrestre.

18. Al tomar tales generalizaciones como pilares de nuestros argumentos, fuerza es que admitamos que un gran número de problemas con los que se enfrenta la ciencia (especialmente en sus elaboraciones filosóficas) desaparecerán necesariamente del foco de nuestro estudio, ya que no derivan de generalizaciones empíricas ni pueden construirse prescindiendo de hipótesis. A título de ejemplo, los problemas relativos a la génesis de la vida en la Tierra, si es que tuvo lugar un comienzo; todas las representacio-

<sup>3</sup> Sólo existen índices de oscilaciones poco significativas en torno a la media fija.

nes cosmogónicas alusivas al estado primitivo de la Tierra, desprovisto de vida, o a la existencia de la abiogénesis en los hipotéticos períodos cósmicos de la historia de la Tierra.

Dichos problemas (la génesis de la vida, la abiogénesis, la existencia de períodos azoicos en la historia de la corteza terrestre) se enlazan tan estrechamente con las construcciones científicas y filosóficas imperantes, imbuidas de hipótesis cosmogónicas, que no suele cuestionarse su necesidad lógica.

El estudio de la historia de la ciencia, no obstante, demuestra que tales problemas han penetrado en la ciencia desde campos foráneos, que han nacido en el seno de las elaboraciones religiosas o filosóficas de la humanidad. La evidencia surge cuando son confrontados con el mundo científico de los hechos y de las generalizaciones empíricas formuladas con rigor.

Tal situación no variaría incluso en el supuesto de que los problemas en cuestión se hubieran resuelto en sentido negativo; en otras palabras, incluso si hubiéramos decidido que la vida ha existido siempre, sin un comienzo; que el organismo vivo, en ningún momento ni lugar, ha sido generado por la materia inerte; que jamás se han sucedido períodos geológicos sin vida en la historia de la Tierra.

Se requiere, simplemente, sustituir las hipótesis cosmogónicas actuales por hipótesis nuevas; proceder a reelaborar, de un modo matemático o científico, algunas construcciones filosóficas o religiosas desechadas por la ciencia, como aconteció con otras intuiciones filosóficas o religiosas cuando se crearon las cosmogonías científicas contemporáneas.

### La materia viva en la Biosfera

19. La biosfera es la única región de la corteza terrestre donde se asienta la vida. La vida se concentra en la biosfera, la fina epidermis de nuestro planeta; todos los organismos anidan en su seno y se mantienen perpetuamente separados de la materia inerte circundante por un límite claro e infranqueable. Jamás organismo alguno ha sido engendrado por la materia inorgánica. Cuando vive, muere y se destruye, el organismo restituye sus átomos a la biosfera, de quien los retoma cíclicamente: la materia viva se origina, sin excepción, en la propia vida.

La vida abarca una proporción considerable de los átomos que constituyen la materia de la superficie terrestre. Bajo la influencia vital, estos átomos se desplazan de manera continua e intensa. Sin pausa y de un modo muy variado, se crean millones de compuestos de tales átomos. Este proceso subsiste desde hace miles de millones de años, desde la era arqueozoica más remota hasta nuestros días, permaneciendo inalterado en sus rasgos fundamentales.

En la superficie terrestre no hay fuerza química más inmutable —por ende, más potente en sus consecuencias definitivas— que los organismos vivos tomados globalmente. A medida que progresa el estudio de los fenómenos químicos de la biosfera, nos convencemos de que no se presentan casos donde tales fenómenos sean independientes de la vida. Semejante evidencia es aplicable al curso completo de la historia geológica. Las capas arqueozoicas primitivas encierran indicios indirectos de que por entronces había vida; las rocas antiguas algonquianas (jatulianas), que podrían ser arqueozoicas (J. Pompecki, 1927), contienen huellas directas e imponentes visibles de organismos. Científicos de la talla de A. Schuchert (1924) han acertado plenamente al equiparar las rocas arqueozoicas con las rocas paleozoicas, mesozoicas, cenozoicas, donde abundan las señales vitales. Las rocas arqueozoicas corresponden a las zonas accesibles de la corteza con una mayor antigüedad, dado el estado actual de nuestros conocimientos. Estas rocas conservan vestigios de una vida que se remonta a las eras más primitivas (de  $1,5 \times 10^9$  años de antigüedad por lo menos). La energía del Sol no ha podido experimentar pues una alteración sensible y tales deducciones se ven confirmadas por unas conjeturas astronómicas muy verosímiles (H. Shapley, 1925).

20. Por otra parte, es evidente que, si la vida desapareciera, los importantes procesos químicos inexorablemente ligados a ella también lo harían, si no en toda la corteza terrestre, al menos en su superficie, en la faz de la Tierra, en la biosfera. Todos los minerales de la epidermis de la corteza terrestre: los aluminosilicatos (arcillas), los carbonatos (calizas y dolomías), los hidratos de hierro y de aluminio (limonitas y bauxitas), así como cenizas de otros minerales, son continuamente creados bajo el impacto de la vida. De apagarse ésta, los elementos de dichos minerales se agruparían inmediatamente de un modo radicalmente distinto en respuesta a las nuevas condiciones, mientras que todos los minerales ordinarios desaparecerían sin remisión. Tras la extinción de la vida faltaría, en la superficie terrestre, la fuerza capaz de propulsar incesantemente la aparición de nuevos compuestos químicos.

Un equilibrio químico estable, una bonanza química, se asentaría irremisiblemente, perturbado sólo de manera esporádica y sólo en ciertos lugares por el aporte de materia desde las profundidades terrestres —emanaciones gaseosas, fuentes termales o erupciones volcánicas—. Ahora bien, estas materias de aluvión asumirían, más o menos de prisa, las formas estables de los sistemas moleculares que se adecúan a las condiciones de la corteza terrestre vacía de vida y, a partir de ahí, serían inmodificables.

Por mucho que el número de grietas por donde emerge la materia procedente de las profundidades de la corteza equivalga a millares de puntos diseminados por toda la superficie del planeta, se pierden en la inmensi-

dad de la misma; por mucho que vayan sucediéndose tales procesos por intervalos, como ocurre con las erupciones volcánicas, no dejan de ser inapreciables en la infinitud de los tiempos terrestres.

Con la vida extinta únicamente se producirían en la superficie de la Tierra unas transformaciones lentas, imperceptibles, relacionadas con su tectónica. Tales modificaciones se computarían no ya en el calendario de nuestros años y de nuestros siglos, sino en el ciclo de los años y los siglos geológicos. Resultarían detectables, al igual que los cambios radioactivos de los sistemas atómicos, únicamente en el flujo de los tiempos cósmicos.

Las fuerzas siempre activas de la biosfera (el calor del Sol y la actividad química del agua) apenas alterarían los perfiles del fenómeno, ya que el oxígeno libre desaparecería con la supresión de la vida y la masa de ácido carbónico prácticamente se reduciría a mínimos. Los principales agentes de la alteración superficial se desvanecerían de esta suerte, unos agentes que, hoy por hoy, son constantemente absorbidos por la materia inerte de la biosfera y restituidos, en una proporción equivalente, por la materia orgánica. En las condiciones termodinámicas de la biosfera, el agua es un potente agente químico, pero esta agua «natural», el agua vadosa (cf. 89), contiene múltiples centros químicamente activos gracias a la existencia de la vida, sobre todo de los organismos microscópicos. Es un agua que modifica el oxígeno y el ácido carbónico disueltos en su seno. En cambio el agua, donde no hay vida —ni oxígeno libre, ni ácido carbónico—, al poseer una temperatura y una presión propias de la superficie terrestre en un medio gaseoso inerte, es un cuerpo químicamente poco activo e indiferente.

La superficie de la Tierra se volvería tan inmóvil y químicamente apática como la superficie de la Luna, los fragmentos de los cuerpos celestes atraídos por la fuerza gravitatoria de la Tierra, los meteoritos ricos en metales y el polvo cósmico que flota por los espacios celestes.

21. Así pues, la vida perturba en un grado muy significativo, permanentemente e incansablemente, la inercia química sobre la superficie del planeta.

En realidad no se limita a trazar el cuadro completo de la Naturaleza circundante con sus colores y formas, las asociaciones de los organismos vegetales y animales, el trabajo y la actividad creadora de la civilización humana; desencadena los procesos químicos más profundos, los de mayor envergadura de la corteza terrestre.

No existe equilibrio químico alguno de importancia en la corteza donde no se manifieste la influencia de la vida, que troquele así toda la química con su impronta indeleble.

*Por tanto, la vida no es un fenómeno externo o accidental con respecto a la superficie terrestre. Guarda una conexión estrecha con la estructura de la corteza; es parte integrante de su mecanismo y cumple, al efecto, funciones de primer orden, necesarias a la propia existencia de dicho mecanismo.*

22. Toda la vida, toda la materia viviente puede ser estudiada como un conjunto indivisible en el mecanismo de la biosfera. Ahora bien, sólo una parte de la vida, *la flora verde* portadora de la clorofila, utiliza inmediatamente los rayos luminosos del Sol y produce, en virtud de la fotosíntesis y mediante la energía solar, unos compuestos químicos inestables fuera del organismo, o después de su muerte, en el campo termodinámico de la biosfera.

Todo el mundo viviente está ligado por un lazo directo e indisoluble a las plantas verdes. La materia de los animales y de las plantas sin clorofila es una elaboración posterior de sus compuestos químicos. Como excepción, cabe la posibilidad de que las bacterias autótrofas no sean un apéndice de las plantas verdes, pero dichas bacterias también guardan, en alguna medida, un parentesco genético remoto con las mismas (cf. 100).

Puede considerarse entonces toda esta porción de la Naturaleza viva como el desarrollo ulterior del mismo proceso de transformación de la energía solar luminosa en fuerza planetaria activa. Los animales y los hongos acumulan los cuerpos ricos en nitrógeno, convirtiéndose éstos en agentes de transformación aún más efectivos, en centros de energía química libre, cuando una vez muertos o destruidos los organismos, o liberándose de ellos, abandonan el campo termodinámico donde fueron estables y penetran en la biosfera, en un campo termodinámico diferente, donde se descomponen desprendiendo energía.

Cabe pues considerar, ya la materia viva global, ya la totalidad de los organismos vivientes sin excepción (cf. 160), como el campo singular y específico donde se almacena la energía química libre, donde se transforman, en la biosfera, los rayos luminosos del Sol en dicha energía.

23. El estudio de la morfología y de la ecología de los organismos verdes consagró, tiempo ha, la tesis de que la primera adaptación de todas las plantas con clorofila, tanto por sus asociaciones como por su movimiento, se dirigía a satisfacer el cumplimiento de su función cósmica —captar y transformar los rayos solares—. Por lo demás, un naturalista prestigioso que ha profundizado en el tema, el botánico austriaco J. Wiesner, ha comprobado —y su observación data de antiguo— que la luz, con preferencia al calor, influye poderosamente en la morfología de las plantas verdes: «Podría afirmarse que la luz modela sus formas como si se tratara de una materia plástica».

En este punto surge una generalización empírica de primer orden bajo dos aspectos distintos y contrapuestos, entre los cuales no estamos todavía en condiciones de elegir. Por un lado, se intenta explicar el fenómeno apelando a causas intrínsecas, inherentes al organismo autónomo vivo, que se adapta con el fin de acaparar toda la energía luminosa de la radiación solar; por otro lado, se busca la explicación fuera del organismo, en la radia-

ción solar que, al incidir en la planta verde, la fabrica como si fuera una masa inerte.

Probablemente acertaríamos indagando la solución del problema en ambas direcciones; el futuro lo determinará. Por el momento es menester que cuidemos, ante todo, la observación empírica como tal, pues reviste mayor importancia que las representaciones mencionadas.

La observación empírica nos demuestra que hay un lazo indisoluble entre la radiación luminosa del Sol, que alumbró la biosfera, y el mundo de los vegetales verdes que la habitan. Siempre se dan unas condiciones que aseguran a los rayos luminosos, en su trayectoria, el encuentro con las plantas verdes, transformadoras de la energía que los primeros les suministran.

Cabe afirmar que, en *condiciones normales*, cada radiación solar determina una transformación energética similar, interpretable como una propiedad de la materia orgánica, como su función en la biosfera.

Siempre que falle una transformación de esta clase, o que la planta verde se muestre incapaz de realizar el cometido que la define en el mecanismo de la corteza terrestre, se impone buscar una explicación para dicho estado anormal del fenómeno.

La consecuencia fundamental inferida de la observación es el autotropismo tan acentuado del proceso. El restablecimiento de su orden perturbado acontece con la intervención exclusiva de los rayos luminosos del Sol y las plantas verdes, adaptadas a su misión por una estructura y un modo de vida específicos. Se restablecerá el equilibrio en el supuesto único de que predominen fuerzas contrarias, estando tal restablecimiento relacionado con el tiempo.

24. La observación de la Naturaleza circundante nos depara, a cada paso, señales de la existencia de tal mecanismo en la biosfera. La reflexión nos permite comprender su magnitud y su alcance.

La vegetación verde recubre toda la superficie de tierra firme. Las áreas desnudas constituyen una excepción y son irrelevantes en el conjunto. Si divisióramos la Tierra desde el espacio, a buen seguro tendríamos un colorido verde.

La clorofila, que capta y transforma la energía solar, se expande por toda la superficie terrestre y oceánica tan continuamente como los haces de luz solar que inciden en el planeta.

La materia viva, el conjunto de los organismos, se reparte por toda la superficie terrestre de manera análoga a como lo hacen los gases y genera una presión determinada sobre el entorno; sortea los obstáculos que encuentra en la trayectoria de su movimiento ascendente o los domina recurbiéndolos.

Con el tiempo, envuelve con un manto sin fisuras la totalidad del globo terrestre y sólo desaparece de modo puntual, cuando una fuerza externa quiebra o paraliza su movimiento expansivo, su abrazo.

Su ubicuidad inmutable se corresponde con la radiación solar que alumbra ininterrumpidamente la faz de la Tierra y a cuyas ondas debe su existencia el mundo verde que nos rodea.

Tal movimiento está causado por la *multiplicación de los organismos*, es decir, por el incremento automático del número de sus individuos. Normalmente tiene lugar sin treguas, con una intensidad determinada que es equiparable a la de los rayos solares incidiendo sobre la faz de la Tierra.

A pesar del carácter sumamente variable de la vida, no hay duda de que los fenómenos de su reproducción, de la multiplicación y del crecimiento de los organismos y de sus conjuntos (materias vivientes) —es decir, el trabajo vital de transformar la energía solar en energía química terrestre— se rigen por unas leyes matemáticas inmutables. Todo obedece al cálculo y se acomoda con la precisión y el ajuste mecánico, la medida y la sincronía propias de los cuerpos celestes y que estamos vislumbrando en los sistemas de los átomos de la materia y de los átomos de la energía.

#### La multiplicación de los organismos y la energía geoquímica de la materia viva

25. La difusión de la materia verde, ocasionada por su multiplicación en la biosfera, implica una de las manifestaciones más características e importantes del mecanismo de la corteza terrestre. Esta difusión es una propiedad que comparten todos los seres vivos, con o sin clorofila: supone la manifestación más peculiar y fundamental de la vida en la biosfera, la señal inequívoca mediante la cual se distingue la vida de la muerte. Es el modo como la energía vital abarca todo el espacio de la biosfera. Tal expansión ocasionada por la multiplicación se refleja en el entorno por la *ubicuidad de la vida*, su invasión de cualquier espacio libre siempre que no tope, en su camino, con algún obstáculo insalvable que la frene. El territorio de la vida equivale a toda la superficie del planeta. Si una zona estuviera desprovista de vida, antes o después terminaría siendo colonizada por seres vivos. Los tiempos geológicos, contemplados según la escala de la historia del planeta, significan un lapso muy breve durante el cual, no obstante, se desarrollan unos organismos adaptados a unas condiciones que, en eras pretéritas, les habrían resultado adversas; los límites de la vida parecen, pues, extenderse con los tiempos geológicos (cf. 119, 122). En cualquier caso, la vida se adueña, o propende a ello durante la historia geológica, de la totalidad del espacio utilizable.

Esta tendencia es manifestamente inherente a la vida y no el exponente de una fuerza extraña, como por ejemplo ocurre con el deslizamiento de una duna o de un glaciar por efecto de la gravitación terrestre.

La difusión de la vida es un movimiento que se expresa mediante su ubicuidad, es la manifestación de su energía interna, del trabajo químico que lleva a cabo. Tal difusión se asemeja a la expansión del gas, que no viene determinada por la gravitación sino por su propia energía, por los movimientos separados de las partículas cuya agrupación constituye el gas. La difusión de la materia viva en la superficie del planeta también refleja su energía: es un movimiento inevitable, provocado por los nuevos organismos resultantes de la multiplicación, que ocupan nuevas posiciones en la biosfera. Esta difusión es, en primer término, la manifestación de la energía autónoma de la vida en la biosfera, una energía que se revela a través del trabajo que la vida realiza trasladando los elementos químicos y creando cuerpos a partir de ellos. La designaremos como *energía geoquímica de la vida en la biosfera*.

26. El movimiento originado por la multiplicación de los organismos vivos, ejecutado con una regularidad matemática inexorable y sorprendente, acontece en la biosfera sin pausa y ofrece, a través de sus resultados, el rasgo más característico y sobresaliente del mecanismo de la misma. Se produce en tierra firme sobre la superficie terrestre, llega a todas las cuencas, incluida la hidrosfera, lo observamos por doquier en la troposfera. Se infiltra, bajo la forma de parásitos, en el propio seno de las materias orgánicas. Se sucede sin tregua, sin que decrezca el ritmo, de una manera fija y sin fallos durante miríadas de años, efectuando en el transcurso de todo ese tiempo un trabajo geoquímico ingente, a la vez que expresa una modalidad de penetración de la energía de los rayos solares en nuestro planeta y de distribución de tal energía por la superficie terrestre.

Así pues, no sólo ejecuta la tarea de trasladar cuerpos materiales, sino la de transmitir la energía. Por consecuencia, el movimiento de los cuerpos materiales mediante la multiplicación se convierte en un proceso *sui generis*.

No se trata de un movimiento mecánico ordinario de los cuerpos en la superficie terrestre, de unos cuerpos independientes, autónomos respecto del medio en el que se desplazan. El medio provoca, por su resistencia, un rozamiento análogo al que provoca el movimiento de los cuerpos resultante de la atracción. Pero la relación de este movimiento con el medio es todavía más estrecha: únicamente se producirá por efecto del intercambio gaseoso que tiene lugar entre los cuerpos móviles y el medio donde se desplazan. Su rapidez correlaciona positivamente con la intensidad del intercambio gaseoso: se detiene cuando éste no puede ya efectuarse. El intercambio gaseoso es la *respiración* de los organismos; la respiración, como veremos, transforma profundamente la multiplicación y la condicióna. El movimiento de la multiplicación reviste así una gran importancia geoquímica y constituye un engranaje del mecanismo de la biosfera; al mismo tiempo es un reflejo de los rayos solares. Por lo demás la respiración como

tal, el intercambio gaseoso entre la vida y el entorno, supone la expresión de la energía de esos mismos rayos.

27. Aun cuando sea un movimiento que nos rodea permanentemente, no lo detectamos, porque nuestra mirada se contenta con las impresiones generales: belleza y diversidad de las formas, colores, movimientos y correlaciones que la Naturaleza viva despliega ante nuestros ojos. Apreciamos los campos y los bosques, con su flora y su fauna; las cuencas y los mares, poblados de vida; el suelo también rebosante de vida, pero con la apariencia de un cuerpo inerte. Percibimos el resultado estático del equilibrio dinámico de estos movimientos, si bien se nos presenta raramente la oportunidad de observarlos por sí mismos.

Nos detendremos en algunos ejemplos que ilustran dicho movimiento, principio creador de los seres vivos, un movimiento soterrado que, no obstante, cumple un papel primordial y específico en la Naturaleza.

Ocasionalmente contemplamos, en unos espacios comparativamente reducidos, la desaparición de la vida vegetal superior. Incendios forestales, estepas abrasadas, tierras removidas, campos arados, en barbecho; islas que emergen, coladas de lava, terrenos recubiertos de ceniza volcánica, otros que se han originado a partir de glaciares o de ciénagas, suelos que nacen de un tapizado de líquenes y musgos sobre rocas desnudas: todos los fenómenos mencionados, y otras innumerables formas de manifestarse la vida sobre el planeta, introducen temporalmente unos calveros que denotan la ausencia de hierbas y de árboles sobre la cubierta verde de tierra firme. Pero tales calveros no son persistentes. La vida vuelve a imponerse en seguida; las hierbas verdes y, al cabo de un tiempo, las masas arbóreas reconquistan las zonas despobladas o se extienden por otras nuevas. Esta vegetación llega en parte desde afuera, con las semillas transportadas por los organismos vivos o, más frecuentemente aún, por el viento; esta vegetación también nace de las reservas de semillas que yacen por doquier en el suelo en estado latente y que han conservado a veces esta forma durante siglos enteros.

El aporte de semillas desde el exterior, a pesar de ser una condición necesaria del desarrollo vegetal, no constituye su causa determinante. El desarrollo se produce gracias a la multiplicación de los organismos y depende de la energía geoquímica que se ha manifestado por medio de esta multiplicación; el proceso se dilata durante años hasta que se restablece el equilibrio alterado. Como veremos, se relaciona con la velocidad a la cual se transmite la vida en la biosfera, a la cual se transmite la energía geoquímica de las materias vivientes, de las especies superiores de las plantas verdes.

En este último supuesto, el observador pendiente de la repoblación de los espacios asolados puede captar el ímpetu expansivo de la vida y valorar

realmente su presión. Si se concentra mentalmente, atisbará sobre nuestro planeta el movimiento de la energía solar, transmutada en energía química terrestre.

Advertirá tal movimiento cuando examine con atención la Naturaleza circundante, la lucha por existir que sorda, callada y pertinazmente disputan en derredor las plantas verdes. Detecta este movimiento y ha experimentado, a través de los sentidos, el deterioro del bosque en la estepa o el avance de la masa de líquenes de la tundra que asfixia a los árboles.

28. Artrópodos, ácaros y arañas representan la masa predominante de materia animal en tierra firme. En las regiones tropicales y subtropicales, ortópteros, hormigas y termes son los protagonistas. La multiplicación de estos últimos se efectúa de un modo singular. Aunque la energía geoquímica que les es inherente (cf. 37) corresponde al mismo orden que la de las plantas verdes superiores, no obstante es algo menor.

En las sociedades de termes, un solo organismo entre decenas de miles, incluso centenares de miles de individuos neutros, está facultado para cumplir con la función reproductora inmediata, por la cual nacen los descendientes: nos referimos a la reina-madre. Pone huevos incansablemente durante toda su existencia, a veces diez años o más. El número de huevos atribuidos a una reina, el número de individuos nuevos que puede generar, se eleva a billones. De ella nacen cientos de miles de individuos cada año. Se citan casos en los que deposita 60 huevos por minuto; es decir, 86.400 en 24 horas, con la regularidad de un péndulo marcando los segundos, a razón de 86.400 en un día completo.

La multiplicación se efectúa por enjambres. Una parte de los descendientes, con la nueva reina, vuelan fuera del termitero y ocupan otro espacio, separado del territorio que necesita la sociedad originaria para sobrevivir. El instinto funciona a cualquier nivel con una exactitud matemática, tanto en lo que se refiere a la incubación de los huevos, inmediatamente trasladados por los termes-obreros, como en la acción de enjambrar o en la sustitución, en caso de accidente imprevisto, de la primera reina-madre por otra. La omnipresencia del número se hace patente con la misma precisión prodigiosa. Todo está cuantificado, sujeto a unas leyes estadísticas determinadas: media de los huevos, media anual de los enjambres, media de los individuos que los integran, media de la población de castas, dimensiones y pesos de los organismos; la intensidad media de la multiplicación y la transferencia de la energía geoquímica de los termes a la superficie terrestre, provocada por dicha multiplicación: se trata, invariablemente, de constantes numéricas.

Podríamos expresar con una media exacta la intensidad del movimiento de los termes en la superficie terrestre resultante de su multiplicación conociendo el número anual de los enjambres, la media de los individuos

que los forman, las dimensiones de éstos, la media de los huevos depositados anualmente por la reina. Cabe representar, con un valor numérico determinado, la acción producida por este movimiento en el medio, así como su presión.

Dicha presión es muy considerable. Los hombres que residen en las proximidades de un termitero lo saben por el trabajo que han de realizar a fin de proteger los productos que necesitan para subsistir y alimentarse.

Si los termites no hubieran encontrado obstáculos en el medio exterior, sobre todo en un contexto vital impropio, habrían sido capaces de invadir y colonizar, en unos cuantos años, los  $5,10065 \times 10^8$  kilómetros cuadrados de la superficie total de la biosfera.

29. Entre los organismos, las bacterias ocupan una posición singular. Son seres organizados, con las dimensiones más exiguas que conocemos: linealmente no alcanzan los  $10^{-4}$ , ni los  $10^{-5}$  centímetros incluso. Simultáneamente exhiben el máximo poder para multiplicarse. Lo hacen escindiéndose. Cada célula se duplica varias veces en el intervalo de 24 horas. La bacteria dotada de la reproducción más intensa realiza esta función unas 63 ó 64 veces al día, cada 22-23 minutos de promedio, con la misma regularidad con que la reina de los termites pone huevos o el planeta gira en torno al Sol.

Las bacterias viven en un medio líquido o semi-líquido. Sus masas más importantes las detectamos en la hidrosfera; también abundan en el suelo, infiltradas en otros organismos.

Si no encontrarán obstáculos en el mundo exterior, habrían podido crear, a una velocidad inconcebible y en infinitas cantidades, por tanto, los compuestos químicos más complejos, receptáculos de una actividad química desbordante.

La vertiginosa celeridad a la que se multiplican corresponde a una energía muy notable. Tal reproducción resulta tan asombrosa que en 36 horas o menos podrían recubrir con sus cuerpos, al modo de una membrana, la superficie total del globo terrestre; un evento cuyos efectos ni las hierbas verdes, ni los insectos, contrarrestarían antes de un período de varios años o, en algunos casos especiales, antes de varios centenares de días.

Existen en el medio marino bacterias prácticamente esféricas cuyo volumen, según M. Fischer, equivale a  $10^{-12}$  centímetros cúbicos. Un centímetro cúbico albergaría entonces  $10^{12}$  individuos y, si anotamos la intensidad con que se multiplican (al ritmo de 63 escisiones celulares por día), serían capaces de completar un centímetro cúbico en un intervalo de 11 a 13 horas, dada la penetración en éste de una bacteria de dicha especie.

De hecho las bacterias no se encuentran aisladas, siempre se agrupan en colonias y, en condiciones favorables, se adueñan más velozmente aún de un centímetro cúbico.

El proceso de escisión se produce efectivamente a semejante velocidad cuando hay unas condiciones favorables; en primera instancia cuando lo propicia la temperatura del medio. La celeridad a la que se suceden las generaciones decrece si baja la temperatura y este cambio puede expresarse mediante una fórmula matemática concreta. La bacteria está respirando siempre, es decir, mantiene un contacto continuo con los gases disueltos en el agua. Evidentemente, el número de bacterias por centímetro cúbico nunca igualará el número de las moléculas gaseosas que ocuparían idéntico volumen: es decir,  $2,706 \times 10^{19}$  (número de Loschmidt). Un centímetro cúbico de agua contendrá un número bastante menor de moléculas gaseosas. La cifra de bacterias por centímetro cúbico jamás superará la cifra de las moléculas gaseosas con las cuales conservan las bacterias un vínculo genético. Constatamos aquí un límite a la multiplicación de los seres organizados, determinado por los fenómenos de la respiración y por las propiedades del estado gaseoso de la materia.

30. El ejemplo de las bacterias nos permite expresar el movimiento observado en la biosfera, resultante de la multiplicación, desde un enfoque distinto al que hemos utilizado hasta el momento.

Imaginemos el período de la historia de la Tierra cuya existencia —sólo es una conjetura— admiten sin prueba los geólogos; una era en que el Océano recubría no ya las tres cuartas partes de la superficie del globo, sino su totalidad. E. Suess hace coincidir este «mar universal», «panthalassa», con la era arqueozoica. Sin duda lo poblaban bacterias. En los sedimentos paleozoicos más antiguos se constatan huellas visibles de las mismas. El carácter de los minerales que pertenecen a los estratos arqueozoicos y, particularmente, el tipo de sus agrupaciones determinan, con un grado de certeza similar, la existencia de bacterias en la era arqueozoica, en las capas del planeta más primitivas accesibles a la investigación geológica. Si la temperatura de este mar universal hubiera sido idónea para su desarrollo y si no hubiera encontrado obstáculos para reproducirse, la bacteria esférica con un volumen de  $10^{-12}$  centímetros cúbicos habría formado una película ininterrumpida de  $5,10065 \times 10^8$  kilómetros cuadrados en 1,47 veces 24 horas; es decir, en menos de 36 horas.

Se observan profusamente en la biosfera redes de bacterias tejidas por multiplicación que, aunque sean de menor extensión, cubren sin embargo grandes superficies. Hacia el año 1890, el profesor M. A. Egunov se esforzó por demostrar la existencia de una fina —aunque inmensa— membrana de bacterias sulfurosas cuya extensión igualaba la superficie del Mar Negro (411.540 kilómetros cuadrados), en el límite de la superficie del oxígeno libre y a una profundidad de unos 200 metros. Las investigaciones del profesor B. L. Issatchenko y de la expedición de N. M. Knipovitch (1926) no corroboran tales indicios. Se aprecia el fenómeno a menor escala, pero



de forma incontestable, en los equilibrios dinámicos de la vida, por ejemplo en la línea donde confluyen el agua dulce y el agua salada en el lago Mervojé (un lago «muerto»), en la isla de Kildin, permanentemente recubierta de una capa ininterrumpida de bacterias purpúreas (C. Derjugin, 1926).

Otros organismos microscópicos de mayor volumen, los del plancton, ofrecen constantemente ejemplo de un fenómeno similar. A veces la película que forman los organismos del plancton oceánico recubre miles de kilómetros cuadrados. Estas mallas se completan con celeridad.

Cabe representar en todos los casos la energía geoquímica de dichos procesos de una manera análoga: mediante la velocidad de transmisión de esta energía a la superficie terrestre, con velocidad  $v$ , proporcional a la intensidad de la multiplicación de la especie (en nuestro ejemplo, de las bacterias de M. Fischer).

En su manifestación más extrema, y si el organismo colonizara la superficie total del planeta ( $5,10065 \times 10^8$  kilómetros cuadrados), esta energía recorrería en un tiempo determinado, distinto para cada especie, una misma distancia máxima que corresponde al ecuador terrestre ( $4,0075721 \times 10^8$  metros).

La bacteria de Fischer, con un volumen de  $10^{-12}$  centímetros cúbicos, al formar la membrana en el mar universal de E. Suess, desarrollaría una energía cuya transmisión, según el diámetro terrestre, alcanza una velocidad próxima a los 33.100 centímetros por segundo.

La velocidad  $v$ , igual a 33.100 centímetros por segundo, puede considerarse como la velocidad a la cual se transmite la vida, la energía geoquímica en torno al globo terrestre. Es igual a la velocidad media del movimiento de rotación en torno a dicho globo por efecto de su multiplicación. En 1,45 día de 24 horas y por efecto de la misma, la bacteria en cuestión podría realizar la «vuelta» completa al Globo atravesando el mar hipotéticamente universal.

La velocidad de transmisión de la vida sobre la distancia máxima que le resulta abarcable será la constante que defina a cada materia viva homogénea, una constante de la que nos serviremos para expresar la energía geoquímica de la vida.

31. Esta magnitud siempre específica para cada especie o raza expresa, por un lado, los rasgos del mecanismo de la multiplicación; por otro lado, los límites que la restringen debido a las dimensiones y a las propiedades del planeta.

La velocidad de transmisión de la vida no es un simple trasunto de las propiedades de los organismos autónomos o de sus conjuntos, las materias vivas: refleja la multiplicación de los mismos en el marco de la biosfera, como un fenómeno planetario. Los elementos del planeta, la extensión de

su superficie y de su ecuador constituyen una parte integrante del fenómeno. En este punto surge una analogía con otras propiedades del organismo, como por ejemplo su peso. No serían idénticos el peso de un determinado organismo sobre la Tierra y su peso si fuera transferido a un planeta diferente, aun sin haber sufrido cambio alguno. De forma similar, las velocidades de transmisión de la vida sobre la Tierra o sobre Júpiter, cuya superficie y cuyo diámetro varían, serían también distintas, incluso si el organismo hubiera permanecido inalterado.

Este carácter terrestre, específico de la transmisión de la vida, viene determinado por los límites que le imponen, a la manifestación del mecanismo de la multiplicación, las propiedades y los rasgos que posee la Tierra en calidad de planeta, la biosfera en calidad de fenómeno cósmico.

32. El ámbito de los fenómenos de la multiplicación no ha atraído, en su justo alcance, la atención de los biólogos. Pese a ello, sin que los propios naturalistas hayan sido conscientes del hecho, se han ido introduciendo en este campo algunas generalizaciones empíricas que, a fuerza de ser utilizadas, han terminado por parecer evidentes.

Entre las anteriores destacaremos las generalizaciones siguientes: la multiplicación de todos los organismos se expresa en progresiones geométricas. Cabe representar esta primera generalización mediante una fórmula única: por ejemplo, por  $2^n = N_n$ , donde  $n$  es el número de veces 24 horas desde que comienza la multiplicación,  $\Delta$  la razón de la progresión que, en el caso de los organismos unicelulares que se reproducen escindiéndose, es el número de generaciones nacidas en 24 horas.  $N_n$  es el número de individuos que nacen por efecto de la multiplicación en  $n$  días (de 24 horas).

$\Delta$  será característico de cada materia viva. La fórmula no tiene límites ni restricciones para  $n$ ,  $\Delta$  y  $N_n$ .

Al igual que la progresión, este proceso es considerado infinito.

Tal infinitud potencial, inherente a la manifestación de la multiplicación del organismo, se expresa mediante la subordinación de esta manifestación en la biosfera —en otras palabras, la dependencia de la expansión de la materia que vive en la superficie terrestre— a la regla de la inercia. Cabe estimar como un hecho empíricamente demostrado que el proceso de la multiplicación sufre únicamente, en su despliegue, las restricciones de las fuerzas externas; se torna lento cuando baja la temperatura, se interrumpe o se debilita cuando falta alimento o escasean los gases necesarios para la respiración, o si los descendientes carecieran de espacio. Desde 1858, C. Darwin y A. Wallace habían expresado esta idea en unos términos que ya eran del dominio de los naturalistas anteriores: C. Linneo, Buffon, C. Humboldt, A. Ehrenberg, K. de Baer —los cuales habían profundizado en tales aspectos—. En un tiempo variable pero específico para cada uno de ellos, cualquier organismo sería capaz de cubrir, mediante la reproducción, la superficie

*total del globo terrestre si no se lo impidiera algún obstáculo externo; de crear una descendencia con un volumen equiparable al de la masa oceánica o al de la corteza terrestre, incluso al del propio planeta.*

El tiempo necesario para que ocurra este fenómeno, que varía en función de los organismos, correlaciona significativamente con sus dimensiones. *Los organismos pequeños, o si se quiere más ligeros, se multiplican con mucha más celeridad que los organismos voluminosos, esto es, con mayor peso.*

33. Los tres principios empíricos anteriores recogen los fenómenos de la multiplicación de los organismos en unos términos teóricos, en el marco del tiempo y del espacio infinitos, contemplados abstractamente.

Ahora bien, la vida, bajo la forma en que nos resulta accesible, es en realidad un fenómeno a escala terrestre, planetario, inseparable de la biosfera, que ha tomado forma y se ha adaptado en función de dichas condiciones específicas.

Transferida al tiempo y al espacio abstractos de las matemáticas, la vida se convierte en una ficción, en una creación de nuestro pensamiento, sin coincidencias con el fenómeno real.

Para alcanzar una concepción exacta y científica, hay que enmendar las nociones abstractas de tiempo y espacio manejadas en las tres representaciones planteadas. Tales correcciones, como lo denota el presente caso, son susceptibles de modificar radicalmente las deducciones que se han establecido al margen de las propiedades espacio-temporales terrestres.

34. Los organismos ocupan un área limitada y compartida. Habitan en un espacio con una estructura determinada, un medio gaseoso o un medio líquido donde hay gases disueltos. Existirán unas fronteras diferentes para cada organismo, dependiendo del carácter de su proceso reproductor.

Una consecuencia necesaria de dicho principio es la de que están restringidas todas las magnitudes que afectan al proceso de la multiplicación de los organismos en la biosfera. Deben existir unos valores máximos de individuos que puedan ser creados por diferentes materias vivas. Estos valores  $N_{máx}$  han de ser definitivos y específicos para cada especie o raza. Las velocidades de transmisión de la vida han de estar encuadradas dentro de unos límites exactos y concretos, que nunca se traspasen. Por último, las magnitudes  $\Delta$  de las progresiones geométricas de la multiplicación también poseen unos límites definidos.

Estos límites están regulados por dos manifestaciones del planeta: 1.º por sus dimensiones; 2.º por la constitución física del medio terrestre, líquido o gaseoso donde se desarrolla la vida, primordialmente por las propiedades de los gases y el intercambio entre sus moléculas y los organismos.

35. Detengámonos sobre la restricción impuesta por las dimensiones del planeta.

A cada paso observamos la influencia de dichas dimensiones. Las superficies de los estanques pequeños están muy frecuentemente recubiertas, de manera ininterrumpida, por una vegetación verde que flota. En nuestras latitudes suele tratarse casi siempre de lentejas de agua verdes, diferentes especies de Lemna. La superficie del agua se convierte a menudo en una lámina verde continua, sin fisuras. Las plantas pequeñas se aproximan mucho las unas a las otras, sus hojillas se tocan, el proceso de la multiplicación es activo, pero un obstáculo externo lo condiciona —en primer lugar, la falta de espacio—. El fenómeno sólo se manifiesta cuando, como consecuencia de diversas causas externas por las que las lentejas de agua se destruyen o se desplazan, surgen huecos en la superficie del agua. Estos huecos son inmediatamente colmados por la multiplicación. Es evidente que el número de lentejas de agua que caben en la superficie liberada es finito y depende del tamaño y de la condición de existencia de dichos organismos. Una vez alcanzado este número, el proceso de multiplicación se detiene: lo traban unos obstáculos externos insuperables. En cada estanque se establece un equilibrio dinámico análogo al que se observó durante la evaporación del agua en superficie. La tensión del vapor de agua y la presión vital son análogos desde un punto de vista mecánico.

Otro ejemplo muy difundido como indicador del mismo fenómeno lo aporta la existencia del alga verde, dotada de una energía geotérmica que supera notablemente la de la lenticula. En condiciones favorables, recubre la superficie total de los troncos de los árboles, sin dejar intersticios (cf. 50). No progresa más por imposición espacial; su proceso de multiplicación se interrumpe en su avance; se desencadena nuevamente en cuanto se presenta la más mínima oportunidad de hallar huecos para albergar a más individuos del Protococcus. La masa de algas con cabida en la superficie arbórea está rigurosamente determinada y no hay modo de rebasar el número correspondiente de individuos.

36. Las consideraciones precedentes son íntegramente aplicables a la totalidad de la Naturaleza viva y al área donde ésta puede expandirse, la superficie de nuestro planeta.

El freno para la manifestación de la fuerza con la que se multiplica la materia orgánica radica en las dimensiones planetarias y en el número de individuos que encuentran acomodo en una superficie de  $5,10065 \times 10^{18}$  centímetros cuadrados. La cifra resultante es función de la densidad de población máxima.

Tal densidad varía mucho: en el caso de la lenticula o del Protococcus unicelular, únicamente depende del tamaño de estos seres; otros organismos demandan, para vivir, una superficie (o un volumen) bastante más

considerable. El elefante en la India requiere hasta 30 kilómetros cuadrados. La oveja en los pastos de las montañas de Escocia requiere unos 10<sup>3</sup> metros cuadrados; una colmena de tipo medio, un mínimo de 10-15 kilómetros cuadrados de bosque caducifolio en Ucrania (es decir, un mínimo de 200 metros cuadrados por individuo); entre 3.000 y 15.000 individuos de plancton se desmenuen, por lo general, en un litro de agua de mar. Son suficientes de 25 a 30 centímetros cuadrados para las gramíneas comunes y algunos metros cuadrados, que pueden llegar hasta las decenas, en el caso de los árboles que suelen poblar nuestros bosques.

Evidentemente, la velocidad de transmisión de la vida es función de la densidad que permite a los conjuntos de individuos alcanzar un desarrollo adecuado; es decir, de una densidad normativa para la materia orgánica.

No abundaremos más en esta constante fundamental de la vida en la biosfera<sup>4</sup>, una constante aún poco estudiada. La densidad máxima de una capa ininterrumpida de organismos (como la que forman las lentejas de agua o el *Protococcus*), o de un centímetro cúbico saturado de las bacterias más pequeñas (cf. 29), corresponde obviamente al número máximo de individuos que puede albergar la biosfera.

La deducción anterior es extrapolable a todos los organismos en el supuesto de que les asignemos una densidad de población equiparable. En tal caso, la densidad será igual al cuadrado de la dimensión media máxima del individuo; es decir, al cuadrado de su altura media o de su anchura media (coeficiente  $x_1$ ).

37. Las restricciones a la multiplicación resultantes de la extensión del planeta, con la ineludible interrupción del proceso, revisten el fenómeno —hecha la salvedad de la influencia más profunda que ejerce el medio de las plantas verdes— de unos rasgos específicos y singulares.

En primer lugar, *hay sin duda una progresión máxima, determinada, igual para todos los organismos, un recorrido durante el cual puede efectuarse la transmisión de la vida*. Tal distancia equivale a la longitud del ecuador; es decir, a 40.075.721 metros. En segundo lugar, para cada especie o raza existe un cupo de individuos que implica un tope. Para que esta población fuera un hecho, la raza en cuestión debería colonizar la superficie terrestre entera con una densidad máxima. Dicha magnitud, que representamos como  $N_{\text{máx}}$  y pasa a designar el *número estacionario de la materia viviente homogénea*, desempeña un papel importante a la hora de evaluar la influencia geoquímica de la vida. Refleja la manifestación máxima posible de la energía de la materia viviente homogénea existente en la biosfera, de su trabajo geoquímico máximo; la velocidad para lograrla (variable según los

<sup>4</sup> Cf. V. Vernadsky, *Bulletin de l'Académie des Sciences de l'Union des Rep. Sov. Soc.*, L. 1926, p. 727; 1927, p. 241; *Revue générale des Sciences*, pp. 661, 700, 1926.

organismos) no es otra que la velocidad  $v$ , o velocidad a la que se transmite la vida.

La velocidad  $v$  se relaciona con el número estacionario mediante la fórmula siguiente:

$$v = \frac{13963,3 \times \Delta}{\lg N_{\text{máx}}}$$

Evidentemente, si la velocidad a la que se transmite la vida permanece constante,  $\Delta$  —que caracteriza la intensidad de la multiplicación (cf. 32)— disminuiría necesariamente; la multiplicación de los organismos en el volumen y en la superficie dados se efectuaría con una lentitud progresiva a medida que el número de descendientes aumentara rozando el número estacionario.

38. Nos consta que este fenómeno inserto en el medio natural ha sido señalado ya, de antiguo, por los naturalistas; hace 40 años lo enunció claramente K. Semper (1888), un observador metódico de la Naturaleza viva. Semper indica que, en condiciones idóneas para la vida, la multiplicación de los organismos se modera en los estanques pequeños según va creciendo el número de individuos. El número estacionario no llega a alcanzarse, pues el proceso se lentifica en función de que la población roce dicho valor por el número de individuos creados. Alguna causa posiblemente interna —además de las externas— regula este proceso. Las experiencias de R. Pearl y colaboradores con la mosca *Drosophila* y las gallinas (1911-1922) corroboran la generalización de Semper en el caso de otros medios.

39. La velocidad a la que se transmite la vida puede darnos una idea exacta de la energía geoquímica vital de diversos organismos. Fluctúa entre amplios márgenes y correlaciona con las dimensiones de los individuos. Para los microscópicos, como las bacterias, ya hemos comentado que se aproxima a la velocidad del sonido a través del aire —referimos una velocidad de 33.100 centímetros por segundo. Para los grandes mamíferos equivale a fracciones de centímetro: en el caso del elefante asiático, por ejemplo,  $v = 0,09$  centímetros por segundo.

Estamos demarcando los límites superior e inferior entre los cuales se sitúan las velocidades de transmisión de la vida propias de todos los restantes organismos. Dichas velocidades dependen obviamente del tamaño de los mismos y, en los casos más simples (por ejemplo, para los organismos cuya forma se asemeja a una esfera), esta relación del tamaño con la velocidad  $v$  puede expresarse mediante una fórmula matemática. La existencia de una relación matemática concreta en todos los casos, sin excepción, se ajusta a la generalización empírica de la que hemos tratado en el párrafo precedente.

40. Por más que la velocidad de transmisión de la vida nos permita formarnos una noción clara de la energía que ésta despliega en la biosfera, así como del trabajo que realiza en ella, la velocidad como tal no determina, por sí sola, esa energía. Es preciso tomar también en cuenta la masa del organismo cuya energía de expansión en la biosfera se expresa mediante la velocidad  $v$ .

La fórmula  $\frac{p v^2}{2}$  (donde  $p$  es el peso medio del organismo<sup>5</sup> y  $v$  la velocidad de transmisión de la energía geoquímica) simboliza la *energía geoquímica cinética* de la materia viva.

Considerada en su relación con un volumen dado de la biosfera, la fórmula sintetiza el trabajo químico que puede ser producido por la especie o la raza de organismos intervinientes en los procesos geoquímicos que se desarrollan en esa área o en ese volumen. Desde hace mucho tiempo se intenta delimitar así una parte de la energía geoquímica de la materia viva reducida a una medida de superficie, la hectárea. Con este procedimiento se *evalúan*, por ejemplo, *las cosechas*, la cantidad de organismos o de sus productos —útiles para el hombre— extraídos de una superficie determinada; o en términos más concretos, la cantidad por hectárea de materia orgánica que puede ser creada por efecto de la multiplicación o del crecimiento de los organismos.

A pesar de que tales datos sean muy incompletos y no hayan sido objeto de una elaboración teórica, nos han conducido ya a unas generalizaciones empíricas importantes.

Ciertamente la cantidad de materia orgánica conseguida por hectárea es limitada y depende estrechamente de la energía radiante del Sol que asimila la planta verde. La energía geoquímica que se acumula así por efecto de la multiplicación de los organismos por hectárea es una energía solar transformada.

Es evidente que, en los casos de cosechas máximas, la cantidad de materia orgánica obtenida por hectárea de suelo es del mismo orden que la que se obtiene por hectárea del Océano. Ambos valores vienen a coincidir y tienden hacia el mismo límite. La hectárea de suelo abarca una capa delgada que no mide más allá de unos metros, mientras que la hectárea oceánica implica una masa de agua poblada de seres vivos que puede medirse en kilómetros. La identidad de la energía vital creada en ambos volú-

<sup>5</sup> La expresión  $p$  que simboliza el peso medio del organismo de una especie (resp. peso medio de un elemento de la materia viviente homogénea), puede reemplazarse —debería reemplazarse, desde un punto de vista lógico— por la expresión del *número medio de átomos* correspondientes al individuo de tal especie. Es este número  $\tau$  de átomos, y no el peso, el que responde a un fenómeno real y el que tendrá que interesarnos en el estado actual de nuestros conocimientos. Lamentablemente sólo podemos calcularlo en los casos excepcionales al fallarnos los análisis químicos elementales de los organismos.

menes demuestra que la fuente de la misma reside en la superficie alumbrada por los rayos del Sol.

El hecho se relaciona probablemente con las características del suelo donde, como veremos, se acumulan concentraciones de organismos (microbios) dotados de una inmensa energía geoquímica (cf. 155). Como consecuencia de tal concentración de energía de la materia viva, cabe comparar —por su impacto geoquímico— la fina epidermis del suelo con el enorme volumen del mar, donde los centros vitales están diluidos en la masa inerte del agua.

41. La energía geoquímica cinética del organismo  $\frac{p v^2}{2}$  aplicada a la hectárea (es decir, a  $10^8$  centímetros cuadrados) puede expresarse mediante la fórmula siguiente, donde  $\frac{10^8}{k}$  representa la cantidad de organismos por hectárea una vez que se ha alcanzado el número estacionario (cf. 37) y  $k$  el coeficiente de densidad de la vida (cf. 36):

$$A_1 = \frac{p v^2}{2} \cdot \frac{10^8}{k} = \frac{p v^2 \cdot N_{\max}}{2 \times 5.10065 \cdot 10^{18}}$$

En el caso de los Protozoos es muy característico que esta magnitud se presente como una constante. Para ellos la fórmula es la siguiente:

$$A_1 = \frac{p v^2}{2} \cdot \frac{10^8}{x} = a \times 3.51 \cdot 10^{12} \text{ C.G.S.},$$

donde el coeficiente  $a$  se aproxima a la unidad<sup>6</sup>.

La fórmula precedente demuestra que la energía geoquímica cinética de los Protozoos la determina la velocidad  $v$ , que se relaciona con el peso, el tamaño del organismo y la intensidad de la multiplicación.

Referida a  $\Delta$ ,  $v$  puede expresarse mediante la fórmula siguiente:

$$v = \frac{4.66637 \cdot \lg 2 \cdot \Delta}{18.70762 - 1 \lg k}$$

<sup>6</sup> Corresponde al peso específico de los Protozoos. De acuerdo con las últimas determinaciones (P. Leontiev, 1926), el valor de  $a$  se aproxima al orden de 1,05.

donde los coeficientes de las constantes específicas para todas las especies de organismos se relacionan con las dimensiones del planeta, con la longitud del diámetro, y donde las evaluaciones son C.G.S.<sup>7</sup>.

La fórmula de la velocidad demuestra que las dimensiones del planeta no explicarán, por sí solas, el límite real para  $v$  y  $\Delta$ .

Los valores máximos conocidos son: para  $v$ , 33.100 centímetros por segundo, y para  $\Delta$ , en torno a 63-64.

¿Pueden aumentar aún —lo cual, a juzgar por las fórmulas presentadas, también resulta posible en el caso de la energía cinética por hectárea—, o existen en la biosfera condiciones que se oponen a ello? El obstáculo se interpone de hecho y se trata del intercambio gaseoso de los organismos, inevitable y necesario para la vida de los mismos y en particular para su multiplicación.

42. Nunca habrá vida orgánica sin intercambio gaseoso, sin respiración. Cuanto más rápidamente se efectúa la multiplicación, tanto más intensa se vuelve aquélla. La potencia del intercambio gaseoso servirá siempre de indicador de la intensidad vital.

A escala de la biosfera es preciso considerar no ya la respiración de un organismo aislado, sino el resultado global. Conviene pues evaluar el intercambio gaseoso —la respiración— de todos los organismos vivos en calidad de componente del mecanismo de la biosfera.

En este campo existen, desde hace mucho tiempo, unas generalizaciones empíricas que, por el momento, han pasado prácticamente desapercibidas; la comunidad científica no les ha concedido su justo valor.

La primera de tales generalizaciones señala que *los gases de la biosfera son idénticos a los que se crean gracias al intercambio gaseoso de los organismos vivos*. Se trata de aquellos gases que, en una proporción significativa, existen en la atmósfera: O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>. La coincidencia no puede ser fortuita.

Por otra parte, todo el oxígeno libre de la biosfera es creado en la superficie terrestre como consecuencia del intercambio gaseoso de las plantas verdes. En este oxígeno libre radica la fuente principal de la energía química libre de la biosfera.

Por último, la cantidad de este oxígeno libre en la biosfera, equivalente a 1,5 x 10<sup>21</sup> gramos, implica un número del mismo orden que la cantidad de materia viva que existe y se une con ella mediante un lazo indisoluble; se estima su peso en 10<sup>20</sup>-10<sup>21</sup> gramos. Ambos valores se han obtenido con independencia el uno del otro.

<sup>7</sup> Una expresión similar de  $v$  existe para todos los organismos, no sólo para los Protozoos. La fórmula A. asume otro valor, menor para los grupos superiores, Metazoos y Metafitos, lo cual depende de los fenómenos de la respiración y de la diferencia sustantiva entre la organización de éstos y la de los Protozoos. No podemos detenernos aquí en tales fenómenos importantes y complejos.

El fuerte vínculo de los gases terrestres con la vida demuestra, con plena evidencia, que el intercambio gaseoso de los organismos —en primera instancia, su respiración— reviste una importancia capital en el régimen gaseoso de la biosfera; es decir, constituye un fenómeno planetario.

43. Tal intercambio gaseoso, la respiración, determina la intensidad de la multiplicación: delimita los valores de  $v$  y  $\Delta$  que no pueden traspasar los umbrales determinados por las propiedades de los gases.

Ya hemos indicado (cf. 29) que el número de organismos con cabida en un centímetro cúbico del medio debe ser menos elevado que el número de moléculas gaseosas contenidas en el mismo; es decir, será necesariamente inferior a 2,706 x 10<sup>19</sup> (número de Loschmidt)<sup>8</sup>. Si la magnitud  $v$  superara los 33.100 centímetros por segundo, la cantidad de individuos creados, en el caso de los organismos de dimensiones más reducidas que las bacterias (a saber, inferiores a  $n \times 10^{-5}$  centímetros), podría rebasar la cuantía de 10<sup>19</sup> en un centímetro cúbico. Como consecuencia de la necesidad ineludible de un intercambio entre las moléculas gaseosas y los organismos, el número de éstos, que absorben y liberan a las primeras —son unos organismos de unas dimensiones comparables a las de las moléculas—, debería aumentar a medida que fueran reduciéndose de tamaño, a una velocidad creciente que terminaría por resultar inverosímil.

Desde la óptica de nuestras representaciones actuales desembocaríamos en un absurdo físico.

Si la limitación del número de individuos contenidos en un centímetro cúbico determina el tamaño mínimo de un organismo y establece así el límite máximo para  $\Delta$  y  $v$ , la interdependencia constante e ineludible entre el número de individuos y el número de moléculas gaseosas contenidas en el volumen en cuestión, los fenómenos respiratorios asumen un mayor protagonismo todavía, traduciéndose permanentemente en los procesos de la multiplicación.

La respiración regula indudablemente todo este proceso en la superficie terrestre; define unas relaciones mutuas entre las poblaciones de organismos con una fecundidad distinta; define, de forma análoga a como lo hace la temperatura, el valor  $\Delta$  que el organismo puede alcanzar de hecho. Es la respiración la que condiciona un  $\Delta$  máximo en función del tamaño del organismo, impidiendo el cumplimiento de los números estacionarios.

En el mundo de los organismos de la biosfera se origina una lucha encarnizada por la existencia no sólo en pos del alimento, sino en lo que atañe al gas

<sup>8</sup> Los microbios viven en un medio gaseoso que, a 0° y 760 mm, no puede albergar más de 2,7 x 10<sup>19</sup> moléculas. En presencia de bacterias, el número de moléculas gaseosas por centímetro cúbico será forzosamente menor. Un centímetro cúbico de líquido —hábitat de los microbios— contendrá necesariamente un número de moléculas gaseosas bastante inferior a 10<sup>19</sup>; no podrá albergar a la par un número de microbios del mismo orden.

imprescindible, siendo ésta una lucha más primaria, pues a través de ella se regula la multiplicación.

44. La repercusión del intercambio gaseoso, así como de la multiplicación de los organismos que éste determina, es enorme, incluso si la valoramos a escala de la biosfera.

La materia inerte no ocasiona un fenómeno parecido, ni siquiera en un grado mucho menor.

Por efecto de la multiplicación cada materia viva es capaz de crear, a su vez, materia orgánica en cantidades indeterminadas. Desconocemos cuál es el peso de la biosfera, pero abarca una pequeña fracción no ya del peso total de la corteza terrestre, sino de la única franja cuya materia interviene en los fenómenos de los ciclos geoquímicos al alcance de nuestro estudio directo (aludimos a los 16 ó 20 kilómetros superficiales de la corteza, cf. 78). El peso de la materia de tales kilómetros equivale a  $2,0 \times 10^{25}$  gramos. Una masa de materia orgánica bastante más considerable, con un peso igual al de la corteza total, puede ser creada por efecto de la multiplicación en un tiempo geológico insignificante, instantáneo si el entorno no pone trabas.

El vibrión del cólera y el *bacterium coli* son capaces de generar dicha masa material en 1,60-1,75 veces 24 horas. La diatomea verde *Nitzschia putrida*, un organismo mixótrofo de los lodos marinos que se nutre de materia orgánica en descomposición y que, al mismo tiempo, atrae y utiliza los rayos solares gracias a su pigmento verde, es capaz de generar  $2,0 \times 10^{25}$  gramos de materia en 24 días de 24 horas. Se trata de uno de los organismos verdes que se multiplican a mayor velocidad, quizá porque toma una parte de las materias orgánicas ya transformadas. Uno de los organismos cuya reproducción destaca por su lentitud, el elefante asiático, puede producir idéntica cantidad de materia en 1.300 años. Ahora bien, ¿qué representan los años y los siglos a escala de las eras geológicas, en otros términos: a escala del tiempo planetario? Por otra parte, hemos de considerar también el hecho de que las nuevas masas, con un peso equivalente a  $2 \times 10^{25}$  gramos, las generarán los elefantes en un lapso muy corto (en días, y no en años).

Tales magnitudes nos proporcionan una idea de las fuerzas que cristalizan en los fenómenos de la multiplicación.

45. Es cierto que, de hecho, ningún organismo crea tales cantidades de materia.

No obstante, el que se desplacen masas de un orden similar en la biosfera por efecto de la multiplicación, incluso en el curso de un año, no roza lo fantástico, pues estas masas llegan a superar en la realidad tales magnitudes.

Son magnitudes que se verifican en la biosfera. En la Naturaleza circundante observamos efectivamente manifestaciones vitales que se corresponden con ellas.

No ha lugar a dudas acerca de que la vida, mediante la multiplicación, origina en el intervalo de un año poblaciones de individuos y masas de materia producidas por éstos del orden de  $10^{25}$  gramos y probablemente mayores con gran frecuencia.

Así, en cada momento dado, existen en la biosfera  $n \times 10^{20} - n \times 10^{21}$  gramos de materia viva. Tal masa se está moviendo siempre: se descompone y vuelve a formarse, principalmente por efecto de su multiplicación más que por su crecimiento. Nacen generaciones en unos intervalos de tiempo que oscilan entre las decenas de minutos y los siglos. Renuevan la materia que abarca la vida. La materia, la que existe realmente en cualquier momento dado, sólo constituye una porción insignificante de la que se crea en un año, ya que se originan y se desintegran, incluso en el plazo de 24 horas, cantidades ingentes de la misma.

Aquí se manifiesta un equilibrio dinámico. Lo sustenta una cantidad de materia que la mente apenas consigue representarse. Es evidente que, hasta en el plazo de 24 horas, se crean y se descomponen con la muerte, el nacimiento, el metabolismo, el crecimiento, masas colosales de materia orgánica. ¿Quién puede medir el número de individuos que nacen y mueren sin interrupción? Es un problema todavía más arduo que el cálculo de los granos de arena, el problema de Arquímedes. ¿Cómo calcular los granos vivientes cuya cantidad varía y se incrementa con el paso del tiempo?

Un sinnfin de individuos se aglomeran y se transforman a la vez en el espacio y en el tiempo. El número de los que han existido, o existen durante un período muy breve a escala del hombre, supera sin duda en más de  $10^{25}$  veces el número de las arenas del mar.

#### La materia viva verde

46. Comparadas con la fuerza de la multiplicación, con la energía geológica de la materia viva, parecen de poca cuantía las masas que, en cada momento, se hallan presentes en las biosfera ( $10^{20} - 10^{21}$  gramos).

Estas masas se vinculan genéticamente en su existencia con la materia verde, la única capaz de captar la energía radiante del Sol.

Nuestros conocimientos actuales lamentablemente nos impiden evaluar qué parte representa la flora, el mundo de las plantas, en toda la materia orgánica. Sólo nos cabe invocar una noción muy aproximada del carácter cuantitativo del fenómeno.

No podríamos asegurar que la materia verde predomina por su masa en toda la superficie terrestre, pero así parece acontecer en lo que se refiere

a tierra firme. Por lo general se admite que en el Océano predomina la vida animal, lo cual, dado su volumen, la sitúa en el primer rango a efectos cuantitativos.

Aun en el supuesto de que la vida animal heterótrofa prevaleciera, a fin de cuentas por su masa, en toda la materia viva, tal preponderancia no sería muy acusada.

¿Acaso la materia viva no se distribuye en dos partes prácticamente equivalentes: la materia verde autótrofa y su creación, la materia heterótrofa? Actualmente no estamos en condiciones de responder a esta cuestión. La materia verde, por sí sola, supone sin embargo unas masas del mismo orden ( $10^{20}$  -  $10^{21}$  gramos), el orden que define a toda la materia dotada de vida.

47. La estructura de un transformador verde semejante de la energía solar varía claramente al pasar de la tierra al mar. Sobre el suelo firme destaca una vegetación verde fanerógama; los árboles, en virtud de su peso, representan una proporción considerable, quizá equiparable a la masa de fanerógamas; las algas verdes y las plantas criptógamas, sobre todo las protistas, se sitúan en el último lugar. En el Océano prevalecen los organismos verdes unicelulares microscópicos; las hierbas (*zosteráceas* y grandes algas, por ejemplo) representan, por su peso, un sector más restringido de la vida vegetal y se concentran en las orillas y en las plataformas litorales accesibles a los rayos solares; sus aglomeraciones flotantes, como la de los sargazos en el Océano Atlántico, se pierden en la inmensidad de las extensiones marinas.

Los metafitos verdes sobresalen en tierra firme; entre éstos, las hierbas son las que se multiplican a mayor velocidad, pues poseen la energía química más notable. La velocidad a la que se transmite la vida entre los árboles parece menor. Las protistas verdes predominan en el Océano.

Resulta poco probable que la velocidad  $v$  supere, en el caso de los metafitos, unos centímetros por segundo. Esta velocidad suma miles de centímetros en el caso de las protistas verdes y multiplica varias veces por cien la fuerza con que se reproducen los primeros. El fenómeno hace patente la diferencia entre la vida marina y la vida terrestre. Aun cuando la vida verde sea menos hegemónica en el mar que en tierra firme, la cantidad global de vida verde en el Océano, dada su extensión en nuestro planeta, supera por su masa la vegetación de tierra firme.

Las protistas verdes del Océano son los principales transformadores de la energía solar luminosa en energía química sobre nuestro planeta.

48. El carácter energético de la vegetación verde en tierra firme, por el que se distingue de la vegetación marina, puede expresarse de otra manera en números exactos.

La fórmula  $2^{n\Delta} = N_n$  (cf. 34) proporciona el incremento orgánico en 24 horas ( $\alpha$ ) por efecto de la multiplicación. Tomemos un organismo inicial, en su primer día, donde  $n = \alpha$ .

$$2^{\Delta} - 1 = \alpha,$$

$$2^{\Delta} - 1 = (\alpha + 1)^n.$$

de donde:  $2^{\Delta} = \alpha + 1$  y  $2^{n\Delta} = (\alpha + 1)^n$ .

La magnitud  $\alpha$  es una constante para cada especie; refleja el aumento, en 24 horas, del número de individuos reducido a uno solo; es decir, de un individuo teórico.

La magnitud  $(\alpha+1)^n$  expresa, evidentemente, el número de individuos creados por efecto de la multiplicación el día  $n$ ésimo:  $(\alpha+1)^n = N_n$ .

El ejemplo siguiente sintetiza el alcance de tales cifras. Según M. Lohmann, la multiplicación media del plancton, contemplando su destrucción y su asimilación por parte de otros organismos, puede representarse mediante la constante  $\alpha+1$ , igual a 1,2996. La misma constante para una cosecha media de trigo candeal en Francia es igual a 1,0290. Estos valores corresponden al valor ideal medio de un organismo de trigo o de plancton al cabo de 24 horas de multiplicación. Así, la relación entre el número de individuos de plancton y de trigo, transcurridas las primeras 24 horas desde que haya comenzado la multiplicación, es igual a:

$$\frac{1,2996}{1,0290} = 1,2829 = \delta$$

Esta relación, multiplicada cada 24 horas por  $\delta$ , será pues al  $n$ ésimo día  $\delta^n$ . Al cabo de veinte días alcanzará un valor de 145,9; al cabo de cien días, el número de individuos del plancton superará  $6,59 \times 10^{10}$  veces el número de individuos del trigo. Al término de un año, si consideramos que la multiplicación del trigo se interrumpe forzosamente durante unos meses, la diferencia  $\delta^{365}$  alcanzará la cifra astronómica de  $3,1 \times 10^{99}$ . Sin duda, ante una diferencia semejante en la intensidad de la multiplicación, se difumina la discrepancia en el peso entre una planta herbácea adulta de tierra firme—de unas decenas de gramos—y un organismo microscópico de plancton que no llega a la millonésima parte de un gramo:

$$(n \times 10^{-6} - n \times 10^{10} \text{ gramos}).$$

El mundo verde oceánico proporciona un resultado similar como consecuencia de la velocidad a la que circula su materia. La fuerza procedente de la radiación solar le permitiría crear, en algunas decenas de días (en 50-70 días) y quizá antes, una masa de materia equivalente, por su peso, a la corteza terrestre (cf. 44). La vegetación herbácea de tierra firme podría

producir la misma cantidad máxima de materia al cabo de algunos años —el *Solanum nigrum*, por ejemplo, en unos cinco años.

Con todo conviene no perder de vista que estas magnitudes no sirven para darnos una idea exacta del papel que juegan las hierbas y el plancton verde en la biosfera. Para compararlos de este modo, hay que hacerlo en intervalos de tiempo idénticos a partir de que comienza el proceso y recordar que la diferencia se acrecienta rápidamente con el decurso del tiempo.

Así, mientras que el *Solanum nigrum* generaría en cinco años 2,10<sup>25</sup> gramos de materia, el plancton verde debería suministrar, en el mismo intervalo, unas cantidades cuya representación numérica excedería nuestras concepciones mentales. En la fase temporal siguiente —mucho menos larga— que requiere la planta herbácea para generar la misma cantidad de materia, el plancton verde produciría unas cantidades aún mayores y más inconcebibles.

49. La diferencia entre la materia verde de tierra firme y la del mar no es fortuita; la provocan los rayos solares por su acción diversa en el agua líquida y transparente, por un lado, y en la tierra sólida y opaca, por otro. El mundo del plancton, que se multiplica con la intensidad ya referida y que desarrolla una energía geoquímica activa en grado sumo, no se circunscribe a las extensiones oceánicas; además regula la manifestación geoquímica de toda la vida acuática que existe en tierra firme.

La magnitud  $\delta$  puede ser un criterio para calibrar la distinta energía que poseen las materias vivas sometidas a comparación, pero su energía geoquímica se refleja igualmente a través de la masa y del peso de los individuos creados. La masa de la materia viva creada es función del producto del número de estos individuos por su peso medio  $p$ ; es decir:

$$M = p (1 \times \alpha)^n$$

Únicamente en el supuesto de que los organismos pequeños se mostraran de hecho capaces de producir una masa material mayor en la biosfera, su situación, resultante de los principios generales de la energética, se tornaría más ventajosa que la de los organismos voluminosos.

Todo sistema, en efecto, logra un equilibrio estable cuando su energía libre se vuelve nula, o casi nula, cuando se reduce al mínimo en las condiciones dadas; esto es, cuando se efectúa todo el trabajo posible en las condiciones del sistema. Todos los procesos de la biosfera y, en un sentido global, de la corteza terrestre, así como sus rasgos generales, están realmente determinados por las condiciones de equilibrio de los sistemas mecánicos con los cuales cabe relacionarlos.

Los rayos solares (la radiación solar), unidos a la materia verde de la biosfera, configuran un sistema de tal clase. Una vez que la radiación solar

haya propiciado en la biosfera un trabajo máximo y haya creado una masa posible de organismos verdes a su nivel óptimo, un sistema semejante se encontrará en un estado de equilibrio estable.

Los rayos solares no penetran en profundidad la materia de tierra firme: por doquier chocan con cuerpos opacos que los absorben. Debido a ello, la capa de materia verde —su obra— es tan restringida.

Las plantas voluminosas —hierbas y árboles— tienen entonces a favor de su desarrollo muchas ventajas sobre las protistas verdes. Consiguen crear una cantidad mayor de materia orgánica en menos tiempo. Es el efecto de las propiedades del medio. Los organismos unicelulares sólo pueden producir una delgadísima capa de materia orgánica en suelo firme: en seguida rozan los límites de su desarrollo, el estado estacionario (cf. 37). Dentro del sistema «rayos solares-tierra firme» tomado como un conjunto, constituyen una forma inestable, ya que la vegetación de hierbas y árboles, a pesar de contar con una reserva menor de energía química por tratarse de un factor inherente a su mecanismo, es apta para desarrollar en tales condiciones un trabajo de más envergadura y para generar una cantidad superior de masa orgánica.

50. Continuamente observamos la repercusión de dicho fenómeno. Cuando desputa la primavera, cuando la vida se despereza en la estepa, la vemos cubrirse en unos días de una delgada capa de algas unicelulares —principalmente, gruesas nostoc— que se desarrollan a gran velocidad. Este manto verde desaparece pronto para cederle el espacio a una vegetación de hierbas que crece con lentitud y que se caracteriza por una energía geoquímica menos intensa; no obstante, por efecto de las propiedades de la materia sólida y opaca del suelo, es la hierba, y no las nostoc (aunque la aventajen en energía geoquímica), la que termina por imponer su hegemonía. La corteza de los árboles, las piedras, el suelo, quedan alfombrados por los protococos que se propagan velozmente. Los días húmedos transforman, en horas, algunas millonésimas de miligramos en materia orgánica con un peso de decigramos o gramos. Entonces su avance se detiene, incluso en las condiciones más favorables de los países lluviosos. Así, los troncos de los árboles en las plantaciones de plátanos de Holanda, por ejemplo, aparecen todos tapizados de una capa continua de protococos en equilibrio estable, pues su progresión en el desarrollo está condicionada por el carácter opaco de la materia donde radican. Muy distinto es el sino de sus parientes acuáticos, que se expanden libremente en un medio transparente con un volumen de centenares de metros.

Las hierbas y los árboles han adoptado su forma según los principios de la mecánica energética; se han elevado en un medio nuevo, transparente, accesible a la luz solar: la troposfera. Los seres unicelulares no los han podido imitar en esta línea. El propio aspecto de las hierbas y los árboles,



su morfología tan variada, refleja la misma tendencia a producir el trabajo máximo, a generar la cantidad máxima de materia orgánica.

Para cumplir con tal finalidad han colonizado un nuevo medio para vivir, el medio aéreo.

51. En el Océano y en el agua resultan muy distintas las condiciones. Los rayos solares se infiltran hasta una profundidad de unos centenares de metros; gracias a su mayor energía geotérmica frente a las hierbas verdes y los árboles, el alga unicelular verde puede crear, en el mismo intervalo de tiempo, una cantidad de masa orgánica infinitamente mayor que la flora verde de tierra firme.

La energía de la radiación solar se aprovecha pues en grado sumo; el organismo verde microscópico, no ya las plantas grandes, es el que configura en este medio oceánico una forma vital estable. Por consecuencia y debido a idénticas causas, se observa en la hidrosfera una abundancia excepcional de vida animal que asimila rápidamente el plancton verde, transformándose así en masa orgánica una cantidad de energía radiante del Sol en progresión siempre creciente.

52. De este modo, los rayos solares portadores de la energía cósmica no sólo desencadenan el mecanismo de transformación de la misma en energía química terrestre, sino que modelan incluso la forma de los transformadores, cuyo conjunto se nos muestra como la Naturaleza viva. La fuerza cósmica le confiere un aspecto distinto en tierra firme y en el agua; tal fuerza modifica sus estructuras, definiendo las relaciones cuantitativas que existen entre organismos autótrofos y heterótrofos. Estos fenómenos sometidos a las leyes del equilibrio deben poder ser representados, siempre y necesariamente, mediante unos estadísticos a los que apenas nos estamos aproximando.

La fuerza cósmica determina la presión de la vida resultante de la multiplicación (cf. 27). Cabe considerar dicha presión como la transmisión de la fuerza solar a la superficie terrestre. De hecho tal presión se deja sentir constantemente en la vida civilizada. El hombre, al alterar la fisonomía de la Naturaleza virgen, al despojar algunas regiones de tierra firme de su flora verde, ha de oponer continuamente una resistencia a la pujanza vital, derrochar esfuerzos, consumir una energía equivalente a dicha presión, producir trabajo. Desde el momento en que no gasta fuerzas ni recursos para defender sus construcciones liberadas de la vegetación, éstas quedan rápidamente sepultadas bajo una masa de organismos verdes, los cuales se adueñan sin tregua, por doquier y donde les resulta factible, de toda la superficie que el hombre les hubiere arrebatado.

Tal presión se manifiesta en la *ubicuidad de la vida*.

No existen regiones que, permanentemente y de manera absoluta, hayan estado exentas de vida. Encontramos vestigios de vida en las rocas más

áridas, en los campos cubiertos de nieve y hielo, en los desiertos de arena y piedra. De modo mecánico llegan organismos vegetales, una vida microscópica renace cíclicamente para luego desaparecer; acuden animales migratorios, algunos se quedan a vivir allí. Incluso a veces se aprecian condensaciones vitales, puntos de una elevada intensidad vital; pero no es un mundo verde de transformadores. Pájaros, animales diversos, insectos, arañas, bacterias, en ciertos casos protistas verdes, componen la población de las regiones con una apariencia inerte, pero que no son en verdad azoicas sino con referencia al mundo «fijo» de las plantas. Conviene comparar estas regiones con aquellas que, en nuestras latitudes, sufren temporalmente la pérdida de vida verde —con las nevadas estacionales, con la reducción de la actividad fotosintética durante el invierno—. Fenómenos como los descritos han acontecido siempre en nuestro planeta, en el curso de todas las eras geológicas, y siempre han sido localmente puntuales. La vida ha perdido invariabilmente a adueñarse de tales espacios, a adaptarse a la existencia en sus condiciones.

Cada hueco disponible en la Naturaleza viva, cualquiera que sea su causa, a la larga se ve indefectiblemente colmado. Una flora y una fauna a menudo nuevas pueblan las cuencas de la hidrosfera o las zonas terrestres azoicas y de reciente formación. En las condiciones que surgen se elaboran, con el ritmo de los tiempos geológicos, especies y subespecies otrora desconocidas. Como dato curioso y significativo añadiremos que, en la estructura de estos organismos de nuevo cuño, en la estructura de sus predecesores, se descubren en estado embrionario las propiedades indispensables para adaptarse a las condiciones específicas del nuevo medio (L. Cuénot). Una preformación morfológica semejante es la manifestación de los mismos principios energéticos de la presión de la vida, unos principios de los que también es exponente su ubicuidad.

En cada momento dado de la existencia del planeta, las áreas azoicas, o de baja vitalidad, suponen una extensión reducida. Pero siempre las hay, más obviamente en tierra firme que en la hidrosfera. La causa de semejante restricción de la energía geotérmica vital se nos escapa; ignoramos si se da una correlación determinada e insalvable entre las fuerzas terrestres contrarias a la vida, por un lado, y la fuerza de la radiación solar o de las propiedades desconocidas de sus ondas, por otro.

53. La adaptación de las plantas verdes con el fin de atraer la energía cósmica no se refleja sólo en su multiplicación; la fotosíntesis se produce fundamentalmente en los cromatóforos microscópicos, menores que las células donde se localizan. Miríadas de estos corpúsculos verdes se distribuyen por toda la planta y son los responsables de su colorido verde.

Al examinar cualquier organismo verde se puede distinguir con claridad, en los detalles y en los grandes rasgos, la adaptación para captar *todas* las ra-

daciones solares luminosas a su alcance. La superficie de las hojas verdes de cada organismo vegetal individual alcanza la máxima medida y su distribución espacial se organiza de tal suerte que ni un solo rayo de luz se desvíe del aparato microscópico de la transformación de la energía que lo capta. Los rayos, al incidir en la Tierra, encuentran por doquier a los organismos que los acechan. Este mecanismo es móvil, y por su perfección supera a los mecanismos que son obra de nuestra voluntad y nuestra inteligencia.

Tal hecho determina la estructura de la vegetación circundante. La superficie de las hojas en los bosques y en las praderas multiplica varias veces por diez la superficie de las hojas en las plantaciones; la superficie de las hojas en los prados de nuestras latitudes, entre 22 y 38 veces; la de un campo de alfalfa blanca, 88,5 veces; la de un hayedo, 7,5 veces, etc. El mundo orgánico foráneo que ocupa los intersticios libres durante el crecimiento de las plantas grandes no se contabiliza en dichos cálculos. En nuestros bosques, aparte de los árboles, crecen las hierbas del suelo, los musgos y los líquenes que trepan por los troncos, las algas verdes de las regiones lluviosas, que los recubren y se expanden a la mínima condición propicia de calor y humedad. En los campos cultivados que roturan la mayor parte de tierra firme, es a base de un gran esfuerzo y de un gasto de energía considerable como el hombre consigue —excepcionalmente, por lo demás— una homogeneidad casi perfecta de sus cultivos: la mala hierba verde siempre halla el modo de despuntar.

Antes de la aparición del hombre, esta estructura se manifestaba en su apogeo en la Naturaleza virgen. Todavía hoy podemos estudiar científicamente sus vestigios. En las zonas sin cultivar de la «estepa virgen» que aún subsisten en la Rusia meridional, podemos apreciar un equilibrio natural vigente desde hace siglos, que habría podido ser prontamente restablecido en la totalidad de la estepa si el hombre no le hubiera contrapuesto la acción de su voluntad y su inteligencia. J. Paczowski (1903) describe la estepa de «kovyl» (o «tyrsa», *stipa capillata*) de Cherson: «Parecía el mar; no se veía otra vegetación que la *stipa* (tyrsa), que subía hasta la cintura de un hombre adulto y más arriba; el conjunto de la vegetación virgen recubría, a veces uniformemente, toda la superficie de la Tierra, la protegía de su sombra, contribuyendo así a conservar la humedad sobre el propio suelo. Esto permitía que los líquenes y los musgos, verdes aún en el cénit del estío, crecieran entre las matas y a su amparo».

Los antiguos naturalistas describían en unos términos análogos las sabanas, otrora vírgenes, de América del Sur. F. d'Azara (1781-1802) relata que las plantas crecían «de un modo tan exuberante que sólo se distinguía la tierra en los senderos, en los ríos o en algún barranco excavado por las aguas».

Las estepas y las sabanas vírgenes rebosantes de materia verde se han conservado a retazos. Los campos de cultivo del hombre civilizado han venido a sustituirlas.

En nuestras latitudes las hierbas verdes se desarrollan estacionalmente; su existencia está ligada por un estrecho vínculo a un fenómeno astronómico: la rotación de la Tierra en torno al Sol.

54. En los restantes fenómenos de la vida vegetal, se aprecia por doquier un panorama idéntico de saturación de la superficie terrestre a cargo de las plantas verdes. La maleza de los bosques en las regiones tropicales y subtropicales, la taiga de las latitudes septentrionales y templadas, las sabanas, las tundras, en la medida en que la mano del hombre las ha respetado, son modalidades diversas del manto con el que, permanente o periódicamente, la materia verde recubre nuestro planeta. El hombre se muestra como el único transgresor del orden establecido: no obstante, no podríamos asegurar si aminora la energía geoquímica o se limita a distribuir de otra suerte los transformadores verdes.

En cualquier tiempo y lugar, las asociaciones vegetales y las variadas formas de las plantas individuales están orientadas para captar una y otra vez los rayos solares, para impedir que se desvíen de los cloroplastos. Es cierto que los rayos no pueden tocar la superficie terrestre (salvo en las regiones azoicas, o transitoriamente azoicas) sin atravesar una extensión de materia viva que supera, hasta en cien veces, la superficie del medio estéril de materia inerte que habrían alumbrado de incidir directamente sobre la misma.

55. La tierra firme comprende exclusivamente el 22,9% de la faz de nuestro planeta. El mar ocupa su mayor parte. En sus aguas se concentra la masa principal de la materia viva verde, transformadora esencial de la energía de radiación solar luminosa en energía química terrestre activa.

El verdor de la materia viviente que se expande en el Océano no suele destacar; dicha materia flota dispersa en miríadas de algas verdes unicelulares microscópicas que se infiltran por doquier. Nadan a la deriva, en ocasiones formando colonias, otras disgregándose sobre la superficie infinita del Océano, que suma millones de kilómetros cuadrados. Penetran hasta donde lo hacen los rayos solares, hasta una profundidad de 400 metros; ora son arrastradas por las corrientes superficiales, ora se hunden con las corrientes verticales, aunque sus masas fundamentales se acumulan a una profundidad que oscila entre los 20 y los 50 metros. Ascenden y descienden en un movimiento perpetuo. Su multiplicación, que varía a tenor de la temperatura y otras condiciones, gana o pierde intensidad dependiendo de la rotación del planeta en torno al Sol.

No hay duda de que también ellas utilizan *al máximo* la radiación luminosa del Sol. Las algas verdes, azules, pardas, rojas, se suceden conforme a un orden regular dentro de su hábitat, en función de la profundidad; las que tienen pigmentos ficocromoproteicos captan los remanentes de luz

que el agua no ha absorbido —los rayos azules—. Como lo demuestra W. Engelmann (1843-1909), todas estas algas de diferente colorido se acomodan a una fotosíntesis óptima en las condiciones de iluminación propias del medio donde viven.

En cualquier punto de la hidrosfera se observa una ordenación semejante de organismos en función de la profundidad. Localmente en las costas, en los bajíos o en las estructuras singulares que están ligadas a la historia geológica, como el Mar de los Sargazos en el Océano Atlántico, el plancton microscópico se intensifica merced a unos campos inmensos de vegetación a la deriva; merced a bosques, a veces gigantescos, de algas y hierbas que constituyen unos laboratorios químicos de energía mucho más activos que las más tupidas masas forestales de tierra firme.

No obstante, la extensión que alcanzan es exigua: su orden de magnitud no excede algunas centésimas de la superficie total del plancton tomado por separado.

56. En última instancia, la mayor proporción de la superficie de nuestro planeta, la hidrosfera, aparece siempre recubierta de una capa continua de transformadores verdes de la energía cósmica. Tal manto también se extiende uniformemente sobre la parte esencial de los continentes. Sobre las restantes zonas se forma cíclicamente en ciertas estaciones climáticas. Los espacios sin flora verde o con una baja intensidad vital, los glaciares o las regiones azoicas carentes de vida, representan del 5 al 6% de la superficie terrestre total. En el supuesto de que los tomáramos en cuenta, la capa de materia verde que reviste la faz del planeta equivaldría a una superficie que no sólo multiplica considerablemente la extensión de los mismos, sino que, dado el orden de su manifestación, se correspondería con los fenómenos cósmicos planetarios.

Incluso en tierra firme la superficie del manto verde que absorbe los rayos solares supera indiscutiblemente de promedio, en más de cien veces —si está en su fase de apogeo—, a la propia superficie del planeta que lo sustenta. La inmensidad de la cobertura verde del Océano mundial, tejida de un conjunto potente —de hasta unos 400 metros— de capas superpuestas de algas unicelulares, rebasa la propia extensión marina. Al paso de la luz va creándose una superficie continua de transformadores clorofilanos microscópicos de mayor o igual área que la de Júpiter, el planeta más grande del sistema solar. El área de la Tierra mide  $5,1 \times 10^8$  kilómetros cuadrados; la de Júpiter  $6,3 \times 10^{10}$  kilómetros cuadrados. Admitiendo que un 5% de la faz de nuestro planeta se halle desprovista de flora verde y que la superficie que capta las ondas solares deba ser aumentada entre 100 y 500 veces por efecto de la multiplicación de su vegetación verde, el manto consiguiente, en su manifestación máxima, corresponde a  $5,1 \times 10^{10} - 2,55 \times 10^{11}$  kilómetros cuadrados.

Parece improbable que tales valores sean fortuitos y que el mecanismo en cuestión no guarde una conexión íntima con el carácter y la cuantía de la radiación solar.

La superficie de la Tierra supone algo menos de un 10<sup>-2</sup>% respecto de la del Sol ( $8,6 \times 10^{-30}$ ). La superficie verde de su aparato transformador proporciona ya unas magnitudes de un orden distinto, que representan del 0,86 al 4,2% respecto de la superficie del Sol.

57. El orden de los valores mencionados se corresponde obviamente con el orden de la porción de energía solar captada en la biosfera por la materia verde. Dicha convergencia podría servirnos de punto de partida a la hora de intentar explicar el verdear terrestre.

La energía solar absorbida por los organismos no constituye más que una parte reducida de la que toca la superficie terrestre; a ésta llega, a su vez, una fracción insignificante de la totalidad de las ondas solares. Según S. Arrhenius, la Tierra recibe del Sol  $1,66 \times 10^{21}$  kilocalorías anuales, mientras que la producción anual del Sol alcanza la cifra de  $4 \times 10^{30}$ .

Esta energía cósmica es la única que nos cabe considerar dado el estado actual de nuestros conocimientos. Es bastante improbable que la radiación estelar que incide en la superficie terrestre rebase el  $3,1 \times 10^5$ % respecto de la radiación solar, según demostró en su día I. Newton. Si tomamos en cuenta la radiación de todos los planetas y de la Luna, mayoritariamente un reflejo de la radiación solar, la fracción de energía que la Tierra capta de este modo no sumará ni el 1% de la energía total que la superficie terrestre recibe del Sol.

Una parte significativa de tal energía es absorbida por la envoltura terrestre superior, la atmósfera; el 40% restante, que representa  $6,7 \times 10^{20}$  calorías, alcanza la faz terrestre y queda entonces disponible para la flora verde.

Los procesos térmicos de la corteza terrestre, así como el régimen térmico de la hidrosfera y de la atmósfera, absorben la parte fundamental de dicha energía. La materia viva también lo hace bajo una modalidad térmica, que no contabilizamos en el balance del trabajo químico de la vida. Huelga añadir que esta energía desempeña un papel primordial en la *creación vital* dentro de la biosfera. No obstante, no se plasma de una forma directa originando *nuevos compuestos químicos* que intervengan exclusivamente en el apartado de la evaluación del trabajo químico de la vida.

La flora verde sólo utiliza para el trabajo químico, para crear compuestos orgánicos inestables en el campo termodinámico de la biosfera (cf. 89), unas líneas determinadas del espectro, distribuidas en la zona que fluctúa entre 670 y 735 picómetros (Dongard y Deroche, 1910-1911). Las demás líneas del espectro (entre 300 y 770 picómetros), pese a no ser despreciables en la fotosíntesis, ejercen comparativamente una acción de escasa relevancia.

En virtud de tal hecho y no por la imperfección del aparato transformador, la planta verde aprovecha sólo una pequeña fracción de los rayos solares accesibles. Según J. Boussingault, el campo verde cultivado se muestra capaz de absorber el 1% de la energía solar recibida convirtiéndola en materia orgánica combustible. S. Arrhenius opina que esta proporción se elevaría a un 2% en los cultivos intensivos. Según las observaciones directas de Brown y Escombes, en el caso de la hoja verde alcanza un porcentaje del 0,72%. La superficie forestal apenas utiliza un 0,33% si nos atenemos a los cálculos basados en la madera.

58. Se trata de unos valores sin duda mínimos, no ya máximos.

En la estimación de J. Boussingault, admitiendo incluso la corrección de S. Arrhenius, se contempla meramente la vegetación de tierra firme. Por otra parte, se presupone que aumentamos de hecho la fertilidad del suelo con los cultivos y que no nos limitamos a deparar unas condiciones idóneas para una planta cultivada concreta, destruyendo simultáneamente la vida de otras plantas inútiles. Los cálculos reseñados no incluyen necesariamente la vida de la «mala hierba» ni de la vegetación microscópica, que se beneficia asimismo de las condiciones favorables de los abonos y del trabajo agrícola. Además de los campos, en tierra firme existen otras condensationes verdes donde abunda la vida: las marismas y los bosques y las praderas húmedas, que superan a las plantaciones del hombre en términos cuantitativos (cf. 150 y ss.).

La vegetación verde, al parecer, produce de promedio en la unidad de superficie marina (la hectárea), donde su masa principal está concentrada, unas cifras de un orden similar al que se consigue en tierra firme. La proporción anual más importante de la materia orgánica creada en el mar viene determinada por la intensidad más elevada de su multiplicación (cf. 51). El mundo animal asimila la materia vegetal a la misma velocidad con que se reproduce. Así se forman, en el plancton y en el bentos del Océano, unas aglomeraciones de vida animal sin clorofila a una escala inusualmente observada —en el supuesto de que tal observación se hubiere efectuado— en tierra firme.

Aun cuando fuera menester incrementar considerablemente el valor mínimo de Arrhenius, nos resulta ya evidente la corrección del orden del fenómeno que este autor señala.

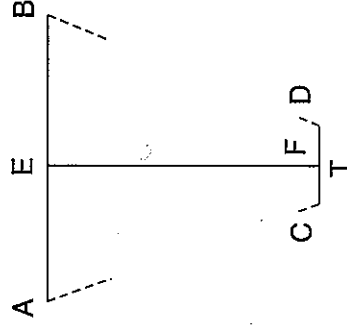
La materia verde absorbe algunas centésimas de la energía radiante del Sol; según todos los indicios, ello supone más del 2%.

Dicha cantidad se sitúa entre los límites del 0,8 al 4,2% de la superficie solar con la que se relaciona la superficie verde de transformación de la biosfera (cf. 56), dado que las plantas verdes no disponen más que del 40% de la energía solar total que incide en el planeta. El 2% que utilizan corresponde al 0,8% de la energía solar total.

59. No nos cabe explicar una coincidencia semejante como no sea reconociendo la existencia de un aparato, en el mecanismo de la biosfera, que aprovecha al máximo una parte determinada de la energía solar. La superficie terrestre verde de la transformación impulsada por la energía radiante equivaldrá entonces a la proporción de energía solar formada por las vibraciones de unas ondas determinadas, capaces de generar en la Tierra un trabajo químico.



Gráfico I



Representemos la superficie de radiación solar, dotada de una rotación veloz —superficie que alumbra ininterrumpidamente nuestro planeta— mediante un segmento AB (cf. Gráfico 1). Desde cada punto de dicha superficie hasta la faz de la Tierra van propagándose sin cesar vibraciones luminosas. Sólo algunas centésimas de  $m$  por ciento de tales ondas —de una longitud determinada— pueden convertirse, gracias a la flora verde, en energía química activa de la biosfera.

La superficie de la Tierra, con su movimiento rotatorio veloz e incesante, puede asimismo representarse mediante una superficie plana alumbrada por los rayos solares. Dada la enormidad y la longitud del diámetro solar con respecto al de la Tierra, así como la distancia de nuestro planeta al Sol, dicha superficie figura en el Gráfico con el punto T. Tal punto puede considerarse como un receptáculo de rayos solares provenientes de la superficie AB. El aparato verde de la transmutación energética se compone, en la biosfera, de una delgadísima capa de orgánulos, los cromatóforos con clorofila. Su acción correlaciona con su área, pues la capa de materia clorofílica se torna muy rápidamente opaca con relación a las radiaciones químicas que transforma. Si consideramos la superficie plana real de los cromatóforos alumbrados por los rayos, la transformación máxima de la

energía solar a cargo de las plantas verdes se producirá cuando exista, en la Tierra, un receptáculo de luz con una superficie plana como mínimo igual a  $m$  por ciento de la superficie luminosa (plana) del Sol. En tal caso, todos los rayos que la Tierra necesita serán absorbidos por el aparato con clorofila. En el Gráfico, el segmento C D corresponde al diámetro de un círculo cuya área equivale al 2% de la superficie solar<sup>9</sup>. El segmento A B, al diámetro de un círculo cuya área equivale a toda la superficie de radiación del Sol; el segmento C D será pues equivalente al diámetro de un círculo cuya área representa al conjunto de los cromatóforos, receptores de los rayos solares. Por último, T es el punto que corresponde a la faz terrestre.

Probablemente existan relaciones desconocidas entre la radiación solar, su carácter (el porcentaje  $m$  de los rayos químicamente activos en la biosfera), la superficie plana de la vegetación verde y la de los espacios azoicos. De ello se infiere que el carácter cósmico de la biosfera debe acusarse profundamente en su estructura así configurada.

60. La materia orgánica retiene siempre en sus creaciones, los organismos vivos, parte de la energía radiante que recibe. Es una cantidad que se adecúa a la de los organismos. El cuerpo de los hechos empíricos refleja que no sólo permanece inmutable la *cantidad de vida* existente en la superficie de la Tierra durante cortos intervalos de tiempo, sino que prácticamente permanece inalterada, que incluso *permanece constante<sup>10</sup> a través de las eras geológicas*, desde la arqueozoica hasta nuestros días.

Las masas de materia viviente de los organismos vivos son obra de la energía de radiación solar.

Tal dato confiere una gran relevancia a la generalización empírica de que la masa de materia viva en la biosfera es constante, pues la relaciona con el fenómeno astronómico de la intensidad de la radiación solar. Nos resulta imposible comprobar desviaciones significativas de esta intensidad en el flujo de los tiempos geológicos. Por lo demás, la íntima conexión que une al elemento principal de la vida, la materia verde, con los rayos solares

<sup>9</sup> En el Gráfico, las superficies se reducen a áreas; se elige como unidad el radio del área que equivale a la superficie del Sol. Estos radios son:

El radio del área igual a la superficie del Sol,

$$r = 4,3952 \times 10^6 \text{ kilómetros} = 1.$$

*Ibid.* para la Tierra,

$$r_1 = 1,2741 \times 10^4 \text{ kilómetros} = 0,00918.$$

*Ibid.* para el 2% de la superficie solar,

$$r_2 = 1,9650 \times 10^4 \text{ kilómetros} = 0,14148.$$

*Ibid.* para el 0,8% de la superficie solar,

$$r_3 = 1,2425 \times 10^4 \text{ kilómetros} = 0,08947.$$

La distancia media de la Tierra al Sol, expresada en idéntica escala, será igual a  $215 = 1,4950 \times 10^8$  kilómetros.

<sup>10</sup> Es decir, que oscila en torno al umbral del estrado estático estable, como en todos los equilibrios.

—con ondas de una determinada longitud—, así como el mecanismo de la biosfera que estamos empezando a considerar apropiado para la utilización total de los rayos por parte de la flora verde, nos suministran una nueva prueba independiente de la constancia de la materia viva en la biosfera.

61. Podemos evaluar la cantidad de energía captada en cada momento basándonos en la materia viva. Según S. Arrhenius, la vegetación verde (sus compuestos combustibles) representa, en un año, el  $2,4 \times 10^{-2}$  % de la energía solar total que alcanza la biosfera; es decir,  $1,6 \times 10^{17}$  kilocalorías.

Es una magnitud considerable, incluso si la valoramos a escala planetaria. No obstante, sería pertinente aumentarla.

Hemos intentado demostrar en un ensayo anterior<sup>11</sup> que la masa orgánica calculada por Arrhenius como fruto del trabajo anual del Sol debería ser incrementada como mínimo diez veces. Probablemente más del 0,25% de la energía solar que llega a la biosfera se conserva constantemente (anualmente) almacenada en la materia viva, en sus compuestos, cuyo estado estable en un campo termodinámico propio diverge del de la materia inerte de la biosfera.

El impacto energético de la vida anual en cuestión, expresado bajo la forma de materias vivas creadas en un año (0,25% de la energía solar), comporta sólo una pequeña fracción de la energía solar transmurada por la vida en energía química terrestre activa durante dicho período. La vida genera nuevos organismos mediante la reproducción, pero además crea compuestos químicos, como el oxígeno libre. Los organismos resultantes de la multiplicación vital se reconstituyen sin pausa y mueren antes del año. Ya hemos tratado este aspecto (cf. 45): unas masas ingentes de elementos mueren incesantemente durante el año, unas masas que multiplican varias veces el peso de los 16 kilómetros superficiales de la corteza terrestre; es decir, unas cantidades múltiples del orden de  $10^{25}$  gramos.

Conforme a lo que abonan los datos hasta hoy, el aporte energético de la vida en la biosfera, bajo la forma de organismos verdes cuya existencia supera el ciclo anual, apenas excede la energía que la totalidad de la materia viva retiene aún en su campo termodinámico. Como mínimo almacenada, en calidad de compuestos combustibles,  $1 \times 10^{18}$  kilocalorías y como mínimo consume anualmente, para volver a crearlos y reconstruirlos, el 2% de la energía que alcanza la superficie de la Tierra y el Océano; es decir, gasta a partir de  $1,5 \times 10^{19}$  kilocalorías. Si las investigaciones posteriores inducen a incrementar esta magnitud, es altamente improbable que el orden de  $10^{19}$  resulte modificado.

Al permanecer constante la cantidad de materia orgánica en el curso de todos los tiempos geológicos, cabe considerar como inherente a la vida la

<sup>11</sup> V. Vernadsky, *La Géochimie*, P. 1924, p. 308.

energía que se corresponde con su parte combustible. Por tanto,  $n \times 10^{19}$  kilocalorías será la magnitud que exprese la energía transmitida por la vida, durante un año, en la biosfera bajo la forma de organismos vivos.

#### Algunas observaciones sobre la materia viva en el mecanismo de la Biosfera

62. La flora verde, pese a su relevancia, no abarca todas las manifestaciones esenciales de la vida en la biosfera.

La química de la biosfera está totalmente impregnada de los fenómenos vitales, de la energía cósmica que la vida absorbe. Por tanto falla su comprensión, incluso en lo que atañe a los aspectos más generales, si no hacemos patente el rango que ocupa la vida en el mecanismo de la biosfera. Ahora bien, esta química sólo se relaciona parcialmente con la flora verde.

El mecanismo en cuestión encierra muchos secretos; no obstante, señalaremos algunas regularidades que consideramos necesariamente como generalizaciones empíricas.

Sin duda nuestras ideas actuales sobre estos fenómenos sufrirán giros radicales con el progreso científico, pero por muy imperfectas que sean, las hallamos continuamente refrendadas en el marco de la Naturaleza y fuerza es que las tomemos en cuenta.

Reseñaremos sucintamente algunas de las ideas que nos parecen primordiales.

El eminente naturalista K. de Baer destacó, tiempo ha, una particularidad que regula toda la historia geoquímica de la materia orgánica en la biosfera: *la ley de la economía* en lo que respecta a la utilización de los cuerpos químicos simples una vez que forman parte de su composición. Baer demostró tal hecho en el caso del carbono y, posteriormente, del nitrógeno. Es aplicable a la historia geológica de todos los elementos químicos.

La economía, referida a cómo utiliza la materia viva los elementos químicos para subsistir, asume diversas modalidades. En primer lugar, el fenómeno se detecta en el seno del organismo. Cuando penetra en éste un elemento, pasa por una larga cadena de estados, integrándose en varios compuestos antes de abandonar definitivamente el organismo y de que éste no obtenga ya beneficio del elemento. En segundo lugar, el organismo incorpora exclusivamente a su sistema las cantidades de elementos que requiere para vivir y desecha lo superfluo. Procede a elegir, toma unos elementos, ignora otros, y lo hace siempre en unas proporciones determinadas.

Se trata de un aspecto del fenómeno que Baer estudió y que sin duda se relaciona con la autonomía del organismo y con los sistemas de equi-

brio que le son propios —unos sistemas que logran el equilibrio estable, dotados de una energía libre mínima.

Tal particularidad de la historia geoquímica de los organismos se refleja con mayor nitidez en sus conjuntos. La ley de la economía se observa aquí en innumerables fenómenos biológicos. Los átomos que penetran en la materia viva bajo cualquier modalidad, una vez que se han integrado en las corrientes vitales, se reincorporan difícilmente —quizá ya no lo hagan— en la materia inerte de la biosfera. Los organismos que asimilan a otros —parasitismo, simbiosis, saprofitismo—, los cuales vuelven a transformar instantáneamente en una forma de materia orgánica los residuos apenas liberados y vivos aún en una gran medida (están impregnados de seres microscópicos), los descendientes resultantes de la multiplicación —en resumen, una amplísima batería de mecanismos heterogéneos— arrastran a los átomos en el entorno, los confinan en los circuitos vitales y, dentro de éstos, los van trasladando de lugar.

Así viene aconteciendo en la extensión de todo el ciclo de la vida desde hace cientos de millones de años. Una parte de los átomos que componen la materia viva inmutable, cuya energía se mantiene constante a nivel del orden de las  $10^{19}$  kilocalorías, jamás abandona dicho ciclo. Según la expresión —en sentido figurado— que nos refiere Baer, la vida aplica criterios económicos en el gasto de la materia absorbida, no la desecha fácilmente y lo hace cuando no le queda otra alternativa. Por lo general no la restituye, al menos no por mucho tiempo.

63. En virtud de *la ley de la economía*, habrá átomos que permanezcan dentro de los circuitos de la materia viva a lo largo de los tiempos geológicos, en perpetuo movimiento y en continua migración, sin retornar al seno de la materia inorgánica.

Esta generalización empírica, ante el panorama tan sorprendente que traza, nos obliga a profundizar en las consecuencias que entraña y a buscarles una explicación.

Actualmente sólo nos cabe proceder por hipótesis. En primera instancia, la generalización plantea una cuestión que la ciencia había ignorado con anterioridad, si bien las especulaciones filosóficas y teológicas ya la habían abordado. Tales átomos, patrimonio de la materia orgánica, ¿son los mismos que los que componen la materia inerte o existen entre ellos otras mezclas específicas de isótopos? La experiencia será la que nos brinde una respuesta y la experiencia prácticamente llama ya a nuestra puerta.

64. Una de las manifestaciones con mayor trascendencia, con un impacto fundamental en la biosfera (cf. 42), es el intercambio gaseoso de los organismos con su entorno gaseoso. Una parte de dicho intercambio ha

sido acertadamente calificada de *combustión* por L. Lavoisier. Mediante la combustión, los átomos de carbono, hidrógeno y oxígeno migran sin tréguo dentro y fuera de las corrientes vitales.

Probablemente la combustión no afecte al sustrato esencial de la vida, el protoplasma. Es posible que los átomos de carbono, que se liberan de la materia viva en la atmósfera o en el agua bajo la forma de ácido carbónico, provengan de una materia externa al organismo, de los alimentos, y no ya de aquella que compone su estructura. En consecuencia, sería en la base protoplasmática de la vida y en sus formaciones donde se agruparían los átomos absorbidos por la materia viva y retenidos por ella.

La teoría de la estabilidad atómica del protoplasma se remonta a Cl. Bernard; está excluida de los conceptos admitidos en biología, pero ocasionalmente irrumpe dentro de este campo y alerta a los estudiosos.

Quizá haya una relación entre las tesis de Cl. Bernard, la generalización empírica alusiva a la economía vital de K. de Baer y el hecho empírico, probado por la geoquímica, que refleja la constancia de la cantidad de vida en la biosfera.

Es verosímil que todas las aportaciones reseñadas sean facetas del mismo fenómeno: *la invariabilidad de la cuantía de las formaciones protoplasmáticas de la vida en la biosfera a lo largo de todos los tiempos geológicos.*

65. El estudio de los fenómenos relacionados con la vida a escala de la biosfera aporta otras evidencias acerca de cuán estrechamente aquéllos se imbrican en ésta. Confirma la necesidad de que consideremos los fenómenos vitales como un componente del mecanismo de la biosfera, ya que las funciones desempeñadas por la materia orgánica en el mecanismo exacto y complejo de la misma repercuten profundamente en las propiedades y estructuras de los seres vivos.

*El intercambio gaseoso de los organismos, su respiración, ocupa el primer rango entre tales fenómenos. Queda fuera de discusión el parentesco íntimo de dicho intercambio con el intercambio gaseoso a escala planetaria, del cual representa una de sus manifestaciones esenciales.*

J.-B. Dumas y J. Boussingault, en una famosa conferencia que pronunciaron en París, en 1844, demostraron que la materia viva funciona como un *apéndice de la atmósfera*. En efecto, la materia orgánica construye, durante su existencia, el cuerpo de los organismos a partir de los gases atmosféricos (oxígeno, ácido carbónico, agua, compuestos del nitrógeno y del azufre); convierte dichos gases en combustibles, líquidos y sólidos, acumulando de esta suerte la energía cósmica del Sol. Después de morir y mientras participa del ciclo vital —cuando se produce el intercambio gaseoso—, restituye a la atmósfera los mismos elementos gaseosos.

Esta noción se adecúa perfectamente a la realidad. El vínculo genético que encadena a la vida y a los gases es muy estrecho. Incluso más profundo

de lo que se concluye en un primer análisis. Los gases de la biosfera se mantienen siempre genéticamente ligados a la materia viviente y ésta determina, invariablemente, la composición química básica de la atmósfera terrestre.

Ya tratamos este fenómeno a la hora de reseñar el papel protagonista que cumple el intercambio gaseoso en la creación y en el condicionamiento de la multiplicación de los organismos; es decir, en la manifestación de su energía geoquímica (cf. 42).

Los gases presentes en la atmósfera (oxígeno libre, ácido carbónico, etc.) se hallan en un estado de equilibrio dinámico, en un continuo intercambio con la materia viva.

Los gases que se desprenden de esta última retornan a la atmósfera incessantemente; las fases de absorción y de expulsión a menudo acontecen en el organismo de modo casi instantáneo. El flujo gaseoso de la biosfera se relaciona así íntimamente con la fotosíntesis, con el laboratorio cósmico de la energía.

66. La mayor parte de los átomos se reintegra en la materia orgánica inmediatamente después de que perezca el organismo donde se hallaban. Una proporción insignificante de su peso abandona, por un largo tiempo, el proceso vital.

Este pequeño porcentaje de materia no es aleatorio, sino que probablemente permanezca constante e inmutable en el caso de cada elemento. Acede de nuevo a la materia orgánica por otra vía, al cabo de miles y millones de años. En este paréntesis, los compuestos que han emigrado de la materia orgánica desempeñan un cometido prioritario en la historia de la biosfera, e incluso en la historia de la corteza terrestre en sentido amplio, pues una gran parte de sus átomos abandona, por un largo período, *los límites de la biosfera.*

Nos referimos aquí a un nuevo proceso, *el de la lenta penetración de la Tierra por la energía radiante del Sol que incide en ella.* Al ritmo de dicho proceso, la materia viva transforma la biosfera y la corteza terrestre. Sin pausa va legándole una parte de los elementos que han intervenido en la vida, crea masas de un peso ingente, o impregna la materia inerte de la biosfera con el polvo de sus residuos. Por otro lado, gracias a su energía cósmica, modifica la forma de los compuestos que se han originado al margen de su influencia inmediata (cf. 140 y ss.).

La corteza terrestre, hasta donde nos resulta factible observar el fenómeno en sus entrañas, va transmutándose de este modo. La energía cósmica de radiación se infiltra cada vez más profundamente, en el curso de los tiempos geológicos, debido a la acción de la materia viva en el seno del planeta. Los minerales se convierten en formas freáticas de los sistemas moleculares y sirven de intermediarios para este transporte.

En una gran medida, la materia inerte de la biosfera es un producto vital.

Bajo un enfoque novedoso suscribimos las ideas de los filósofos de la Naturaleza de los albores del siglo XIX (L. Ockens, J. Steffens, J. Lamarck). Convencidos del alcance primordial de la vida en los fenómenos geológicos, estos pensadores abarcaban la historia de la corteza terrestre con más hondura y consistencia ante los hechos empíricos que las generaciones posteriores de geólogos partidarios de su observación estricta.

Es curioso que la influencia sobre toda la materia inerte de la biosfera, en particular sobre la creación de las aglomeraciones de minerales vadosos, esté principalmente ligada a la actividad de los organismos del medio acuático. El continuo desplazamiento de las cuencas hídricas en los tiempos geológicos propaga por todo el planeta las acumulaciones de energía química libre, de origen cósmico, obrenida de tal suerte. Todos estos fenómenos parecen caracterizarse por un equilibrio dinámico estable, y las masas de materia que participan en ellos son tan inmutables como la energía solar que alcanza nuestro planeta y los determina.

67. En última instancia, una masa considerable de materia en la envoltura externa, en la biosfera, está englobada y acumulada por los organismos vivos, transmutada por la acción de la energía cósmica del Sol.

El peso de la biosfera debe equivaler a  $10^{24}$  gramos. En esta capa superficial del planeta, la materia viva activa, receptora de la energía cósmica, interviene como mínimo en un 1%, seguramente en varios tantos por ciento. En ciertos puntos predomina y en las capas delgadas, por ejemplo en los suelos, representa a menudo más del 25%.

Así, la aparición de la materia viva y su formación en nuestro planeta se corresponde con un fenómeno de carácter cósmico que se traduce a las claras en la ausencia de *abiogénesis*, en el hecho de que, en el curso de toda la historia geológica, el organismo vivo haya procedido siempre del organismo vivo. Todos los organismos se emparentan genéticamente y en ningún lugar se observa que los rayos solares puedan ser absorbidos, ni la energía solar transformada en energía química, al margen de un organismo vivo anterior.

¿Cómo ha podido originarse este mecanismo específico de la corteza terrestre, la materia de la biosfera animada de vida, un mecanismo que funciona sin interrupción desde hace los miles de millones de años que suman los tiempos geológicos? Es un misterio, como la propia vida lo es en el esquema general de nuestros conocimientos.

## SEGUNDA PARTE

### EL CAMPO DE LA VIDA



## La Biosfera, envoltura terrestre

68. La importancia de la vida en la estructura de la corteza terrestre ha ido calando tan gradualmente el terreno científico que, aún hoy, no se le concede su justo valor. Fue en 1875 cuando E. Suess, a la sazón profesor en la Universidad de Viena y uno de los más eminentes geólogos del pasado siglo, introdujo en la ciencia el concepto de *biosfera*. Con tal término designaba la envoltura específica de la corteza terrestre donde se asienta la vida. Definió así la ubicuidad de la vida, la continuidad de su manifestación en la superficie planetaria, una idea que pugnaba por abrirse camino entre los planteamientos científicos.

Al establecer la nueva noción de una envoltura terrestre peculiar regida por la vida, Suess enunciaba de hecho una nueva *generalización empírica* de amplio alcance, aun cuando no estuviera entonces en condiciones de prever sus últimas consecuencias, ya que apenas estamos comenzando a discernirlas gracias a una serie de descubrimientos científicos recientes.

69. La biosfera constituye la cobertura o *geosfera* superior de una de las grandes regiones concéntricas de nuestro planeta: la corteza terrestre.

Las propiedades físico-químicas de nuestro planeta cambian regularmente en función de su alejamiento relativo respecto del núcleo. Son idénticas en las secciones concéntricas que su estudio determina.

Desde un aspecto estructural cabe distinguir dos formas: en primer lugar, las grandes regiones concéntricas del planeta, que denominaremos *concentros*; en segundo lugar, las divisiones más específicas de tales regiones, que denominaremos *capas* o *geosferas*<sup>1</sup>.

Como mínimo se delimitan tres grandes *regiones concéntricas*: *el núcleo, el Sima y la corteza*. La materia parece estar confinada dentro de cada región, pues sólo cruza los respectivos límites de separación muy lentamente o en determinadas épocas fijas. La migración de materia de uno a otro sector no obedece a un rasgo inherente a la historia geológica ordinaria. Por tanto, cada región configurará un *sistema mecánico aislado*, independiente de los restantes.

La Tierra, en suma, mantiene las mismas condiciones termodinámicas de hace millones de años. Allí donde no se producen aportes de energía

<sup>1</sup> Varios geólogos o geógrafos utilizan el término geosfera, inspirado en las tesis de Suess, en la misma línea que J. Murray (1910) y D. Sobolev (1924).

activa, extraña a los sistemas mecánicos vigentes, se habrán establecido sin duda equilibrios dinámicos estables de la materia y de la energía.

Presumiblemente, los sistemas mecánicos de las regiones estancas de la Tierra están dotados de un equilibrio tanto más perfecto cuanto menor resulte ser el aporte de energía externa.

70. *El núcleo terrestre* se caracteriza por una composición química sin parangón con la de la corteza terrestre en cuya faz vivimos. La materia del núcleo quizá se encuentre en un estado gaseoso particular (gas en estado crítico), pero las nociones relativas al estado físico de las entrañas del planeta —sometidas, según dichas nociones, a la presión de decenas, centenares o miles de atmósferas— se inscriben en el plano de las conjeturas, dado el nivel actual de nuestros conocimientos científicos. Procede admitir en el núcleo el predominio de elementos libres, comparativamente pesados, o de sus compuestos simples. Ahora bien, las propiedades físicas de esta región pueden abordarse científicamente desde diversas ópticas: cabe imaginar un cuerpo sólido, o en estado viscoso, o incluso gaseoso. Cabe suponer que en el núcleo reina una temperatura de miles de grados centígrados o, por el contrario, muy baja, similar a la de los pequeños cuerpos del espacio cósmico. El peso específico medio del planeta (5,7), muy elevado si lo comparamos con el peso de la corteza terrestre (2,7), indica obviamente que el núcleo presenta una composición química singular, distinta de la que apreciamos en la superficie del planeta. El peso específico del núcleo no debe ser inferior a 8, lo más probable es que sea 10. Presumiblemente está integrado por hierro libre o sus aleaciones con el níquel y sus compuestos metálicos. Tal hipótesis tiene la apariencia de ser verosímil.

A una profundidad que ronda los 2.900 kilómetros bajo el nivel oceánico se acusa un cambio brusco de las propiedades de la materia. Este hecho, establecido por los estudios sismométricos, no da lugar a controversias. Tal discontinuidad se explica con la hipótesis de que las ondas sísmicas, a la profundidad señalada, penetran en otra región concéntrica. La medida en cuestión revelaría dónde se sitúa la superficie del núcleo metálico. No obstante, también es posible elegir, como límite de la misma, unas medidas que denotan profundidades menores, de 1.200 ó 1.600 kilómetros, las cuales se corresponden con otros cambios bruscos en el recorrido de las ondas sísmicas.

71. Si bien el estado de nuestros conocimientos actuales sobre las entrañas del planeta nos impide llegar a unas conclusiones lo suficientemente precisas, los últimos años se han mostrado pródigos en revocar nuestras estimaciones dentro de esta disciplina.

El terreno parece firme y en los años venideros asistiremos sin duda a grandes progresos, con lo cual se afinará nuestra comprensión de estos problemas antes de lo que preveíamos no hace demasiado tiempo.

Al relacionar los resultados de las investigaciones en petrogénesis con las mediciones sísmicas, hemos podido concluir que los silicatos y los aluminosilicatos ocupan, en la estructura del planeta, un lugar mucho más preponderante que el asignado hasta la fecha. En este punto es menester destacar las observaciones sobresalientes de los científicos croatas Mohorovicic, padre e hijo, quienes han establecido tal hecho recientemente. Sus investigaciones marcan una continuidad con respecto al largo trabajo de sus predecesores.

72. A partir de ahora podemos inferir algunas propiedades básicas del segundo con centro, que Suess llamó *Sima* y en cuya esencia química subrayó el predominio de los átomos de Si, Mg y O.

En primera instancia, esta región se caracteriza por un espesor de varios centenares de kilómetros —quizá supere los mil—, además de por el hecho de que cinco elementos químicos (silicio, magnesio, oxígeno, hierro y aluminio) desempeñan, al parecer, un papel muy importante. Suponemos que se incrementan los pesados átomos de hierro en razón directa de la profundidad.

Quizá unas rocas análogas a las rocas básicas del tercer con centro —la corteza terrestre— cumplan también un cometido primordial en la constitución del Sima. Las propiedades mecánicas de estas rocas recuerdan a las eclogitas según el criterio de algunos expertos geólogos y geofísicos.

73. El límite superior del Sima lo representa la *corteza terrestre*, cuyo espesor medio —algo menos de 60 kilómetros— está satisfactoriamente determinado gracias a una serie de observaciones independientes: por un lado, los estudios sísmicos, y por otro lado, la medida de la gravedad terrestre.

La superficie isostática es la que separa la región del Sima de la corteza. Indica una propiedad notable de la región del Sima, una propiedad que lo diferencia claramente de su cobertura: la materia del Sima es *homogénea* en la totalidad de las capas concéntricas apreciables.

Las propiedades físico-químicas del Sima varían pues concéntricamente en función de las distancias de los puntos estudiados hasta el núcleo del planeta.

La materia de la corteza terrestre, por el contrario, es claramente *heterogénea* en las distintas partes de la misma capa concéntrica, a igual distancia del núcleo del planeta.

Dadas tales condiciones, no puede efectuarse un intercambio mínimamente intenso entre la materia del Sima y la materia de la corteza terrestre.

74. Por tanto, no existirán en el Sima centros de energía libre susceptibles de actuar sobre la corteza terrestre en los fenómenos observados.

Desde la perspectiva de tales fenómenos, la energía del Sima es irrelevante. Se trata de una energía externa potencial, cuya manifestación jamás ha alcanzado la superficie del planeta en el curso de los tiempos geológicos. No encontramos indicios de su acción en los hechos observados. Esta constatación merece el rango de una generalización empírica fundamentada. En otras palabras, carecemos de datos que prueben que la región del Sima no se mantenga en estado de indiferencia química y de equilibrio estable absoluto y permanente en el curso de todos los tiempos geológicos.

Una primera confirmación de tal estado proviene del hecho de que, en las capas geológicas estudiadas de la corteza terrestre, no detectamos un solo caso —científicamente establecido— de aporte de materia desde las regiones internas del Sima hasta la corteza.

Una segunda confirmación proviene del hecho de que no acontece fenómeno alguno —como la elevación de temperatura, por ejemplo— que revele una energía libre supuestamente inherente al Sima. La energía libre, un calor que se difunde a la corteza desde las profundidades, no está ligada al Sima, sino a la energía atómica de los elementos químicos radioactivos, que se concentran principalmente en la corteza y en las capas superiores del planeta, en unas condiciones que permiten a su energía manifestarse bajo una forma capaz de producir trabajo.

75. De entre los fenómenos observados en la superficie terrestre, la distribución de la gravedad permite descender hasta las entrañas del planeta más profundamente que todos los restantes fenómenos, con la excepción de los terremotos.

El carácter esencial de esta distribución estriba en que se muestra ligada a la estructura singular y muy definida de la región superior del planeta: los constituyentes mayores de la corteza, con pesos específicos variables (desde 1 para el agua a 3,3 para las rocas básicas), se acumulan en esta región superior y se organizan de suerte que, en un corte transversal, las partes ligeras se ven compensadas por otras más pesadas; a una profundidad dada, en la superficie isostática, se aprecia un equilibrio absoluto. Por debajo de dicha superficie comprobamos que las capas del planeta poseen, en toda la extensión que les corresponde, un único e idéntico peso específico.

De ello se infiere que no pueden existir irregularidades mecánicas ni diferencias químicas en las capas a una misma profundidad por debajo de la superficie isostática; a partir de ella rige pues un equilibrio dinámico estable de la materia y de la energía.

Por consiguiente es razonable elegir la superficie isostática como límite inferior de la corteza y como límite superior del Sima. Esta área asume una propiedad importantísima del planeta: separa la región de los *cambios* de la región de los equilibrios inmutables.

Con anterioridad hemos expuesto que la faz de la Tierra —la biosfera, envoltura superior de tal región de cambios— obtiene la energía de transformación del medio cósmico, del Sol. Nos consta —y volveremos a insistir sobre el particular— que hay unos dispositivos para transferir esta energía a las profundidades.

En la corteza terrestre, además, radica otra fuente de energía libre, la materia radioactiva, que provoca unas alteraciones de sus equilibrios estables todavía más potentes, aun cuando las mismas sean muy lentas.

¿Penetran los átomos radioactivos hasta el Sima? Lo ignoramos. No obstante, parece que la cantidad de materias radioactivas no puede ser del mismo orden que en la corteza porque, en caso contrario, las propiedades térmicas del planeta variarían sustancialmente. Las materias radioactivas, fuentes de la energía libre de la Tierra, no acceden entonces hasta el Sima o lo abandonan inmediatamente.

76. Sólo disponemos de una noción muy vaga acerca del estado físico de la materia que configura el Sima.

No creemos que allí se eleve excesivamente la temperatura. La materia que alberga desafía nuestra experiencia sensorial, en primer lugar debido a la enorme presión que soporta. Las propiedades mecánicas de dicha materia —hasta los 2.000 kilómetros de profundidad, por lo menos— se corresponden con las del estado sólido (S. Mohorovicic, 1921). La presión a semejantes profundidades es, sin embargo, tan considerable que implica un reto para nuestra imaginación, desdibujándose nuestros conceptos basados en el principio experimental de los tres estados de la materia (sólido, líquido, gaseoso). Sin traspasar la frontera superior del Sima, donde la presión se eleva a 20.000 atmósferas por centímetro cuadrado, se difumina —según han demostrado los experimentos de P. W. Bridgman (1925)— la diferencia entre las propiedades de los estados sólido, líquido y gaseoso para los parámetros habituales que los definen.

Esta materia no puede ser cristalina; posiblemente quepa visualizarla en el estado vítreo o metálico sometido a alta presión. Se trata de capas totalmente homogéneas, cuya presión se incrementa y cuyas propiedades van modificándose en función de la profundidad.

77. La profundidad de la superficie isostática no se conoce con exactitud. Antaño se le atribuía una medida entre 110 y 120 kilómetros. Las valoraciones recientes más precisas la reducen considerablemente.

Su nivel parece cambiar mucho dependiendo de los lugares; su forma se modifica paulatinamente por la acción de las fuentes de energía libre interna localizadas en la corteza terrestre, bajo el impacto de los llamados procesos geológicos.