

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.)

Comité Científico

- Federico Aguilera Klink
- Carlos Castrodeza Ruiz
- Luis Gutiérrez Andrés (secretario)
- Joan Martínez Alíer
- 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 Argentaria - Visor Dis., 1997

ISBN: 84-7774-979-5

Depósito Legal: M-38.156-1997

Visor Fotocomposición

Impreso en España - Printed in Spain
Gráficas Rógar. Navacarnero (Madrid)

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN. <i>Ramón Margalef</i>	9
CRONOLOGÍA BIO-BIBLIOGRÁFICA DE V. I. VERNADSKY. <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 manifiestamente 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 austriaco 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 Pflanzendleben der Alpen*, de C. Schröter (1923-26), *Grunntzük af den ekologiska 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 porque 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 enfocar 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 adherencia 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 rebuscar 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)¹, consi-

¹ 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 mecanismo 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 relacionan con nuestro Vernadsky, y que pasan a través del estudio de los arácnidos, fósiles y vivientes, «Pete» 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 manifiestamente 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 renacido 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. Rambles, L. Margulis y R. Fester: 1989. *Global Ecology: Towards a Science of the Biosphere*. Academic Press. 204 pp., o Jacques Grinevald: «L'ipotesi 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 termitas 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 bárbara 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 reconocimiento, 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 circunspecto 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 vivos 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 amamanten 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 lamento 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 Fraternidad») 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 *Tchernozem 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

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 descubre 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 continuamente 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

Tesina (*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.

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 humboldtiana».

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 Wilhem 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 Empirocriticismo* (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. Desmonoramiento 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 (policía 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. Khlopin (1890-1950), Vernadsky transforma 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 permafrost¹. 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

¹ 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 calurosamente 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 trío 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 mendeleyevite, nouveau mineral radioactif» («El mendeleyev, 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-

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 reelaborado, 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 biomatemático 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.

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 adivina 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.^a 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

Biosfera y de Noosfera, con referencia a los trabajos de su amigo Teilhard y al geoquímico 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

naturales»), *Bulletin de la Société mineralogique 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, sabotadores 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 geoquímico 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 Kurtcharov (1903-60), futuro responsable del programa soviético de la bomba atómica.

1933

«Océanographie und Geochemie» («Oceanografía y Geoquímica»), *Mineralogie und Petrologie Mitteilung*. Es invitado por la Universidad de París: pronuncia dos conferencias (19 y 22 de diciembre) sobre la radio-geología 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 publicaría, 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 Kostitzin (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.

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 Kolyma; 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 estadounidense, Lindeman adopta explícitamente, siguiendo a Hutchinson, «el enfoque biogeoquímico de Vernadsky». En la bibliografía, cita *La Biosphère* (1929) de Vernadsky.

1943

Con motivo de su 80º cumpleaños, se rinden oficialmente honores a Vernadsky (pero rendir 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.

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.

Raïsa L. BERG, «Vernadsky, Vladimir Ivanovich», en P. Tort, ed., *Dictionnaire du Darwinisme et de l'Evolution*, París: PUF, vol. 3, pp. 4439-4453.

F. 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. Nevraumont 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 Geoquímica*, 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 acotado 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 tamaña 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 contrapone —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 revistiendo 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 proscribe 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-

diaciones 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 integrantes.

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 enrarecido 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 confundiéndose, 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 darles una explicación geológica (J. Thomson, 1921) incurren 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 suministrar-nos, 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 transmutado 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 potentes 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 consciencia 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 estratosfera 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 geoquímicos. 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 transmutan 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 libre¹.

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

¹ 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.

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 acientífica, 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 predeterminar 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-

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 predicciones 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, rehuyendo 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 futuro². 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.

² 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 contradicción 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 geológicos³.

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-

³ 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 entonces había vida; las rocas antiguas algónquicas (jatulianas), que podrían ser arqueozoicas (J. Pompecki, 1927), contienen huellas directas e improntas 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 centenares 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 deprisa, 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 apagada 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, permanente 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 troquela 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 alumbra 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 automatismo 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 divisáramos la Tierra desde el espacio, a buen seguro tendría 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 recorriéndolos.

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 manifiestamente 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 condiciona. 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 termites 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 termites, 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 termites-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 termites 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 termites 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 encontraran 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 Mertvoje (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, Δ 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).

Δ será característico de cada materia viva. La fórmula no tiene límites ni restricciones para n , Δ 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 $N_{\max}$ 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 Δ 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 geoquímica que supera notablemente la de la lentícula. 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 lentícula 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 10³ 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 desenvuelven, 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 biosfera⁴, 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

⁴ 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 permaneciera constante, Δ —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 organismo⁵ y v la velocidad de transmisión de la energía geoquímica) simboliza la *energía geoquímica cinética* de la materia viva.

Considerada en su relación con una superficie o un volumen dados 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-

⁵ 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 τ 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):

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

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 unidad⁶.

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 Δ , v puede expresarse mediante la fórmula siguiente:

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

⁶ 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.⁷

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

Los valores máximos conocidos son: para v , 33.100 centímetros por segundo, y para Δ , 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_2 , N_2 , CO_2 , H_2O , H_2 , CH_4 , NH_3 . 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 $1,5 \times 10^{21}$ 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^{20} - 10^{21} gramos. Ambos valores se han obtenido con independencia el uno del otro.

⁷ 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 Δ *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 $2,706 \times 10^{19}$ (número de Loschmidt)⁸. 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^{19} 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 Δ 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 Δ que el organismo puede alcanzar de hecho. Es la respiración la que condiciona un Δ 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

⁸ Los microbios viven en un medio gaseoso que, a 0° y 760 mm, no puede albergar más de $2,7 \times 10^{19}$ 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^{19} ; 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 2×10^{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 sinfín 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 geoquímica de la materia viva, parecen de poca cuantía las masas que, en cada momento, se hallan presentes en la 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 $2^n = N_n$ (cf. 34) proporciona el incremento orgánico en 24 horas (α) por efecto de la multiplicación. Tomemos un organismo inicial, en su primer día, donde $n = \alpha$.

$$2^\alpha - 1 = \alpha,$$

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

La magnitud α 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 δ , será pues al n ésimo día δ^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 δ^{365} alcanzará la cifra astronómica de $3,1 \times 10^{39}$. 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 $2,10^{25}$ 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 δ 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 cuasi 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 despunta 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 aventajan 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 geoquímica 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 fisionomía 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 propendido invariablemente 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 geoquímica 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-

diaciones 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 cuasi 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 descenden 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 clorofilianos 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 $10^{-2}\%$ 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 4×10^{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 (Dongéard 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 condensaciones 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.

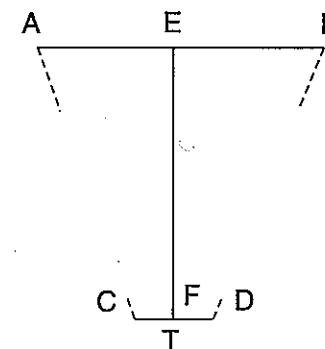
Aun cuando fuera menester incrementar considerablemente el valor mínimo de Arrhenius, nos resulta ya evidente la corrección del orden del fenómeno que este autor señala.

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 1



Representemos la superficie de radiación solar, dotada de una rotación veloz —superficie que alumbra ininterrumpidamente nuestro planeta— mediante un segmento A B (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 A B. 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 clorofilica 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 solar⁹. 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*¹⁰ 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

⁹ 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,

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

Ibid. para la Tierra,

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

Ibid. para el 2% de la superficie solar,

$r_2 = 1,9650 \times 10^3$ kilómetros = 0,14148.

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

$r_3 = 1,2425 \times 10^3$ 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.

¹⁰ Es decir, que oscila en torno al umbral del estado 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 anterior¹¹ 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 transmutada 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 migran 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 almacena, en calidad de compuestos combustibles, 1×10^{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

¹¹ 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 tregua dentro y fuera de las corrientes vitales.

Probablemente la combustión no afecte al substrato 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 incesantemente; 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. Accede 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, obtenida 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, intervendrá 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*¹.

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

¹ 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 concentro, 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 concentro —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 concentrarían 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— obtenía 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.

Justo encima de la superficie isostática se sitúa el gran concentro designado como *corteza terrestre* en virtud de antiguas hipótesis geológicas, que pretendían hallar en la faz terrestre, estudiada desde sus premisas, indicios y vestigios de la corteza resultante de la consolidación del planeta otrora líquido. Esta noción enlazaba con las versiones cosmogónicas alusivas al pasado de la Tierra, entre las cuales destaca, a título de exponente, la hipótesis de Laplace. Dicha hipótesis gozaba de gran predicamento entre los estudiosos, quienes, en un momento dado, habían hipertrofiado su valor científico. Progresivamente fue comprobándose que en ninguna capa geológica accesible se descubría la huella de semejante corteza primaria de consolidación y que el hipotético pasado incandescente-líquido del planeta nunca se hacía patente en los fenómenos geológicos.

Así se debilitó la premisa del planeta otrora líquido e incandescente, la hipótesis de una pretérita ignición líquida, pero el término «corteza terrestre» —que se introdujo por esta vía en la ciencia— subsistió, aunque con un sentido diferente.

78. En la corteza terrestre se distinguen varias envolturas o geosferas concéntricamente dispuestas, aun cuando las correspondientes superficies de demarcación disten, por lo general, de ser esféricas. En cada una rigen unos sistemas de equilibrio (dinámicos, físicos y químicos) en gran medida independientes y aislados. En ciertos casos —probablemente por la imperfección de nuestros conocimientos—, no conseguimos delimitar las distintas geosferas.

En lo que atañe a las regiones superiores en estado sólido, estamos facultados para señalar unos límites más exactos; lo mismo cabe afirmar de las regiones gaseosas inferiores. Desde los 16-20 kilómetros de profundidad bajo el nivel oceánico y desde una altitud entre los 10 y los 20 kilómetros han penetrado, o penetran, en la superficie terrestre compuestos químicos en abundancia. El estudio de la estructura geológica de la Tierra demuestra que las rocas compactas más profundas conocidas no traspasan las medidas indicadas. El espesor de 16 kilómetros viene a coincidir con la presencia de las rocas sedimentarias y metamórficas. Probablemente la composición química de estos 16-20 kilómetros superiores de la corteza esté condicionada por los mismos procesos geológicos actualmente en curso. Los rasgos generales de esta composición nos resultan muy familiares.

Más allá de los límites señalados, tanto superior como inferior, nuestros conocimientos se debilitan: no somos capaces de dilucidar qué materia alcanza la corteza terrestre ni son claros, bajo múltiples aspectos —por mucho que hayan progresado las ciencias experimentales—, los estados de la materia en estas regiones de altas y bajas presiones.

No obstante, el terreno que pisamos en nuestra disciplina es inequívocamente sólido: los conocimientos avanzan de manera pausada, pero siste-

mática. Las concepciones anteriores sobre la corteza terrestre están sufriendo una revisión exhaustiva, todavía en ciernes.

79. Hemos de llamar la atención sobre algunos fenómenos generales, relevantes para comprender la estructura de la corteza terrestre.

En primer lugar, en las zonas superiores de la atmósfera, la materia se encuentra en un estado claramente diferente de aquel que estamos acostumbrados a detectar en torno nuestro. Quizá hablemos de una región del planeta —por encima de los 80 a 100 kilómetros de altitud— que ya no pertenece a la corteza terrestre, sino a *un nuevo concentro*. Bajo la forma de electrones y de iones se acumulan, en un medio material enrarecido, inmensas reservas de energía libre; su función en la historia planetaria está aún pendiente de descubrirse.

En segundo lugar, parece verosímil que las capas interiores de la Tierra no se hallen, en toda su extensión, en estado incandescente, líquido, a pesar de que antiguamente se considerara como una prueba de ello la eyección de las rocas volcánicas. Nos vemos abocados a admitir, en tales capas, la existencia de grandes o pequeñas bolsas de magma, masas de silicatos viscosos en estado de fusión, sometidos a una temperatura entre 600 y 1.200 grados centígrados, diseminados en una envoltura sólida o sólido-viscosa. Nada prueba que los centros magmáticos penetren toda la corteza terrestre, que no se concentren en las regiones superiores y que la temperatura de toda la corteza sea tan elevada como la de estas masas incandescentes, ricas en gases.

80. Aun cuando la estructura de las geosferas más profundas encierra todavía muchos enigmas, desde hace unos años abundan los progresos científicos en este ámbito.

La corteza terrestre estaría formada, en su totalidad, por las rocas ácidas y básicas que hay en la superficie. Las rocas ácidas, granitos o granodioritas, se aglomeran bajo los continentes, donde representan un espesor del orden de 15 kilómetros. Las rocas básicas predominan en las profundidades. Bajo la hidrosfera se acercan más a la superficie terrestre. Estas rocas contienen menos energía libre y menos elementos químicos radioactivos.

Como mínimo cabe admitir la existencia de tres geosferas bajo la superficie terrestre. La primera, la envoltura superior, corresponde a las rocas ácidas (*capa granítica*). Finaliza a unos 15 kilómetros de profundidad y es comparativamente rica en elementos radioactivos.

A unos 34 kilómetros de profundidad se aprecia un nuevo cambio brusco en las propiedades de la materia (H. Jeffreys, S. Mohorovicic), lo cual presumiblemente implica el límite inferior para la existencia de los cuerpos cristalinos. Se trataría de la frontera superior de la capa vítrea de R. Daly (1923). Por debajo de este límite las rocas básicas, parcialmente

ácidas, se encontrarán en el estado vítreo y, por tanto, no guardan parentesco con las rocas conocidas.

Se detecta otro cambio brusco a unos 59-60 kilómetros, de promedio, de la superficie; aparentemente obedece a la aparición, en los fenómenos sísmicos, de unas rocas pesadas, quizá eclogitas², cuya densidad no es inferior a 3,3-3,4.

Penetramos aquí en la región del Sima; la densidad de las rocas va haciéndose cada vez mayor, alcanzando un valor de 4,3-4,4 en su límite inferior (L. Adams y E. Williamson, 1925).

Tales nociones, excesivamente simplistas, se limitan a dar una idea somera de la complejidad del fenómeno.

81. La existencia de las capas terrestres se ha ido estableciendo de un modo empírico a lo largo de muchos años. Algunas de ellas, como la atmósfera, llevan siglos determinadas y su existencia se ha convertido en un concepto del dominio público.

Hasta finales del siglo XIX y comienzos del siglo XX, sin embargo, no han empezado a estudiarse los principios de la génesis de estas capas; todavía no está universalmente reconocida su función en la estructura de la corteza terrestre. La génesis está íntimamente ligada a la química de la corteza y su existencia obedece a que todos los procesos químicos superficiales se rigen por idénticas *leyes mecánicas del equilibrio*.

A partir de ahí, las líneas maestras de la estructura química y física de la corteza terrestre, pese a la enorme complejidad de dicha estructura, se perfilan nítidamente; permiten apreciar empíricamente los estados fundamentales de los fenómenos naturales complejos y clasificar los sistemas complejos de los equilibrios dinámicos estables con los que se corresponden, en esta construcción simplificada, las capas terrestres.

Las leyes del equilibrio, en su formulación matemática general, fueron expuestas por J. W. Gibbs (1884-1887), quien las relaciona con la interacción que puede originarse entre las variables independientes características de los procesos físico-químicos: temperatura, presión, estado físico y composición química de los cuerpos que intervienen en los procesos.

Todas las geosferas (capas terrestres) introducidas en la ciencia por una vía estrictamente empírica pueden delimitarse en función de las distintas variables que, según Gibbs, definen los equilibrios que él estudió. De esta suerte cabe discernir las *capas termodinámicas* determinadas por los valores de la temperatura y la presión, las *capas de los estados de la materia*, caracterizadas por las fases (es decir, por el estado físico: sólido, líquido, etc., de

² Las eclogitas no son ciertamente las mismas a las que aluden los petrógrafos debido a su estructura, que no se supone cristalina; se corresponden con ellas por su peso específico. Las eclogitas de dicha zona superior de la corteza terrestre se localizan en las partes más profundas que pueden ser estudiadas *de visu*.

los cuerpos que integran su composición) y, por último, las *capas químicas*, que se definen por su composición química.

Sólo la envoltura destacada por Suess, la *biosfera*, permanece al margen. Todas sus reacciones se someten a las leyes de los equilibrios, pero se singularizan por una nueva propiedad, una nueva variable independiente, que Gibbs no había contemplado.

82. Las variables independientes de los equilibrios heterogéneos investigados comúnmente en los laboratorios químicos y que suelen tomarse en consideración: temperatura, presión, estado y composición de la materia, no incluyen todas las formas teóricamente posibles. Gibbs estudió matemáticamente los equilibrios electrodinámicos. Diversas fuerzas superficiales —fuerzas de contacto— revisten gran importancia en los equilibrios terrestres naturales. Los fenómenos de la fotosíntesis han sido objeto de una atención permanente en el campo químico: la energía radiante luminosa es la que constituye la variable independiente. En los fenómenos de cristalización intervienen además las energías vectoriales del cristal, la energía interna, por ejemplo en la formación de maclas, la energía superficial en todas las cristalizaciones.

Los organismos vivos se diferencian claramente de todas las restantes variables independientes en la biosfera no sólo por agregar la energía luminosa del Sol a los procesos físico-químicos de la corteza terrestre, sino también por su propia esencia. Al igual que aquéllas, modifican el curso de sus equilibrios; ahora bien, en contraposición con las mismas son, como tales, específicamente independientes; es decir, constituyen unas clases de sistemas de equilibrios dinámicos secundarios en el campo termodinámico primario de la biosfera.

La autonomía de los organismos vivos expresa el hecho de que los parámetros del campo termodinámico que les son propios divergen sustancialmente de los parámetros observados en la biosfera. Con respecto a semejante fenómeno, los organismos —algunos, de forma inequívoca— mantienen una temperatura con independencia de la del entorno y poseen una presión interna específica. Están aislados en la biosfera, y el campo termodinámico de la misma reviste importancia para ellos en la medida en que delimita la región donde pueden desarrollarse sus sistemas autónomos, pero no determina su campo interno.

Desde un enfoque químico, su autonomía se revela ciertamente en el dato de que sus compuestos no pueden formarse fuera de los organismos, en las condiciones normales del medio inorgánico inerte de la biosfera; al penetrar en las condiciones de dicho medio, se tornan irremisiblemente inestables, se descomponen, migran a otros cuerpos y se convierten así en desestabilizadores de su equilibrio y en fuente de energía libre para tal medio inanimado.

Estos compuestos químicos se originan en la materia viviente en respuesta a unas condiciones a menudo muy dispares de las que se observan en la biosfera. En ella jamás se detecta la desagregación de las moléculas de ácido carbónico y de agua, uno de los procesos bioquímicos fundamentales. Tal proceso sólo podría acontecer en las regiones profundas de nuestro planeta que son asiento del magma, al margen de la biosfera. En nuestros laboratorios no lo reproducimos más que a unas temperaturas muy elevadas, extrañas a la biosfera. El campo termodinámico de la materia orgánica difiere claramente del de la biosfera, aun cuando no estemos facultados para explicar su existencia autónoma. Es un dato fundamental que los organismos vivos pueden ser descritos empíricamente como campos termodinámicos particulares, ajenos a la biosfera, aislados en ésta, de unas proporciones comparativamente insignificantes, portadores de la energía solar radiante y creados por tales rayos en su seno. Sus dimensiones oscilan entre $n \times 10^{-12}$ y $n \times 10^8$ centímetros cuadrados.

Sea cual fuere la teoría elegida a la hora de explicar la existencia y la formación de los organismos vivos en la biosfera, se verifica el hecho de que se modifican todos los equilibrios químicos en este medio ante su presencia. Las leyes generales de los equilibrios permanecen inmutables y la acción de los seres vivos y de su conjunto, la materia orgánica, presenta una analogía perfecta con la acción de las restantes variables independientes. Las grandes categorías de los seres vivos pueden considerarse como una forma particular de las variables independientes del campo energético del planeta.

83. Una acción de los seres vivos como la descrita se corresponde directamente con su nutrición, su respiración, su descomposición y su muerte; es decir, con los procesos vitales durante los cuales asimilan y liberan elementos químicos.

Desde un planteamiento empírico, los elementos químicos que incorpora el organismo vivo acceden a un medio sin parangón posible con ningún otro en el planeta. Cabe considerar que, una vez que penetran en la materia orgánica, se produce una *mutación en el modo en que se aparecen los elementos químicos*.

En su nueva disposición, la historia de los elementos químicos pierde toda relación con la que les afecta en las restantes partes del planeta. Tal divergencia se vincula, evidentemente, con el cambio profundo de los sistemas atómicos en la materia orgánica. Quizá no acontezcan, en su seno, las mezclas ordinarias de isótopos. La experiencia dirá la última palabra.

Antes se pensaba —y es una opinión que todavía cuenta con partidarios— que la historia especial y específica de los elementos químicos en los seres vivos obedece al predominio de los coloides en la composición de és-

tos. Ahora bien, en los múltiples casos en que se detectan sistemas coloidales en la biosfera al margen de la vida, la historia de los elementos químicos se atiene a pautas diferentes.

Las propiedades de los sistemas de la materia en forma dispersa (los coloides) están reguladas por las moléculas, no por los átomos. Dicho rasgo es suficiente para no buscar, en los fenómenos coloidales, la explicación de cómo se disponen los elementos químicos, pues sus modalidades vienen siempre determinadas por el estado de los átomos.

84. Hemos establecido el concepto de *modalidad de presentación en el caso de los elementos químicos* (1921) con el rango de una generalización estrictamente empírica.

Los elementos químicos, en función de cómo se aparecen y de su historia consecuente, pueden ser clasificados en distintas *modalidades*, en virtud del estado de sus átomos en los diversos campos termodinámicos o en sus zonas concretas. En teoría pueden combinarse múltiples disposiciones de los elementos químicos, pero en la práctica, en los campos termodinámicos de nuestro planeta, observamos sólo algunas de tales combinaciones.

Por tanto, los átomos de los sistemas estelares deberán ser analizados en unos estados particulares, sin parangón posible en la Tierra. De hecho, se les atribuyen unos estados particulares, por ejemplo para explicar su espectro (átomos ionizados de N. Saha); así sucede con los átomos dotados de una masa enorme, característicos de ciertas estrellas. Para explicarlas, es menester admitir la concentración de miles, incluso de decenas de miles de gramos de su materia en un centímetro cúbico (A. Eddington)³. Los estados de los átomos estelares implican sin duda unas disposiciones desconocidas en la corteza terrestre. Otras formas de combinarse que tampoco existen en la superficie de nuestro planeta pueden observarse —y sin duda se observarán— en el Sol, en su corona (gases de los electrones), en las nebulosas, los cometas y el núcleo terrestre.

85. Dado que los organismos vivos poseen un campo termodinámico autónomo en el campo de la biosfera y que la historia de los elementos químicos, en el seno de la materia orgánica, se transmuta haciéndose totalmente específica y singular, conviene estimar que el hecho de hallarse inte-

³ Así, la densidad de la materia en la estrella Sirius B debe ser igual a 53.000. Hay razones para creer, según las tesis dinámicas de N. Bohr-E. Rutherford (sabemos que los modelos que nos proponen se limitan a ser una aproximación de la realidad), que las órbitas de los electrones pueden situarse más cerca del núcleo de lo que sucede con los átomos ordinarios (M. Tirring, 1925). El desplazamiento observado de la zona roja del espectro en Sirius B confirma esta enorme densidad: los desplazamientos de las líneas espectrales para unos cuerpos de una densidad análoga, basados en la teoría de la relatividad, se corresponden con los hechos observados (M. Adams, 1925).

grados en *las materias vivas*, en el ámbito de la Vida, implica, para los elementos químicos, *su forma peculiar de estar*. No conocemos con exactitud cómo cambia el estado de los átomos en tal situación. No obstante, la certeza de que su disposición armoniza con otras modalidades existentes en la corteza terrestre, invariablemente caracterizadas por estados definidos de los átomos, nos induce a suponer que las investigaciones futuras evidenciarán las modificaciones sufridas por los sistemas atómicos una vez que han penetrado en la materia viva.

Cabe establecer, con un criterio empírico, las distintas formas en que se ordenan los átomos existentes en la corteza terrestre en virtud de la concurrencia de cuatro factores: 1.º un campo termodinámico propio para cada modalidad; 2.º una manifestación atómica particular; 3.º una historia geoquímica de cada elemento específico y particular (migraciones individuales); 4.º unas relaciones fijas, a menudo impuestas por la modalidad de la que se trata, de los átomos de los distintos elementos químicos (paragénesis).

86. Según lo expuesto, distinguiremos cuatro maneras diferentes de aparecerse los elementos químicos en la corteza terrestre, por las que van pasando en el curso de los tiempos y que pueden caracterizar su historia.

Las cuatro fases en cuestión son las siguientes: 1.ª *rocas compactas y minerales*, donde predominan las moléculas y los cristales de combinaciones de elementos estables e inmóviles; 2.ª *magmas*: mezclas viscosas de gases y líquidos, en el estado de mezcla móvil de los sistemas atómicos desagregados, donde no hay cristales ni moléculas, lo cual significa un distanciamiento de la química ordinaria⁴; 3.ª *dispersión* de los elementos, que se encuentran en el estado libre, separados los unos de los otros. Muy probablemente los elementos o están ionizados, o han perdido parte de sus electrones⁵. Nos referimos a un estado particular de los átomos que corresponde al de la materia radiante de M. Faraday y W. Crookes; 4.ª *materia orgánica*, cuyo estado atómico no sabemos precisar. Nos inclinamos a atribuirle un estado molecular, de sistemas disociados de iones, de formas dispersas. Unas representaciones de esta clase no bastan para explicar los hechos empíricos. Quizá, además de los isótopos (cf. 83), la simetría de los átomos cumpla un papel en el que no se había reparado en el caso del organismo vivo (simetría de los campos atómicos).

87. La forma en que se presentan los átomos (los elementos químicos) desempeña, en los equilibrios heterogéneos, la misma función que otras

⁴ Los vidrios, a una temperatura y presión altas (cf. 80), pueden considerarse magmas especiales; quizá se correspondan con una nueva forma de disponerse los elementos químicos.

⁵ Cabe suponer que estos dos estados de los elementos químicos constituyen modalidades distintas.

variables independientes: temperatura, presión, composición química, estados físicos de la materia.

Todas ellas caracterizan a las geosferas, envolturas concéntricas de la corteza terrestre respecto del núcleo del planeta.

En virtud de lo anterior, a las capas indicadas (cf. 81): termodinámicas, de los estados de la materia y químicas, debemos agregarles las capas determinadas por las distintas formas en que se aparecen los elementos químicos. Las designaremos con el término de *capas paragenéticas*, ya que definen ante todo los grandes rasgos de la paragénesis de los elementos; es decir, las leyes de su presencia simultánea.

La biosfera es la más accesible y la mejor estudiada de tales capas paragenéticas.

88. Concebir la estructura de la corteza terrestre como si estuviera constituida de capas termodinámicas, de los estados de la materia, químicas y paragenéticas equivale a una generalización empírica típica.

Se trata de una concepción que todavía no ha sido explicada; es decir, permanece desligada de cualquier teoría de la geogénesis, de cualquier otro tipo de concepciones referentes al universo.

De ello se infiere que una estructura semejante se origina por la interacción de las fuerzas cósmicas, por un lado, y de la materia y la energía de nuestro planeta, por otro; el carácter de la materia, las relaciones cuantitativas de los elementos, por ejemplo, ni son fortuitas, ni se deben a causas meramente geológicas.

Esta generalización empírica, plasmada de modo esquemático en el Cuadro I, servirá de base para el desarrollo ulterior de nuestro estudio.

El Cuadro —y ello es aplicable a cualquier generalización empírica— supone un primer intento de abordar la realidad; su contenido es pues susceptible de ir corrigiéndose y completándose. Su valor depende de los datos empíricos donde se asienta, lo cual significa que se acusarán desniveles en dicho valor.

En lo que concierne a la mayor parte de la primera capa termodinámica y a las restantes primeras capas caracterizadas por sus respectivas variables independientes, así como a la quinta capa termodinámica y a las regiones subyacentes, los conocimientos se apoyan en un número de hechos relativamente escaso y en conjeturas y extrapolaciones, ajenas por esencia a la generalización empírica.

Dadas las circunstancias apuntadas, los conocimientos en este ámbito resultan poco fiables, viéndose abocados a sufrir modificaciones repentinas a tenor del progreso científico. Como consecuencia de los intensos avances actuales en el campo de las ciencias físicas, cabe esperar que en un futuro inmediato sobrevendrán unos descubrimientos espectaculares, con lo cual experimentarán un giro radical las opiniones vigentes.

CAPAS DE LA CORTEZA TERRESTRE

I. Capas termodinámicas	II. Capas de los estados de la materia	III. Capas químicas	IV. Capas paragenéticas	V. Capas radiantes
1. <i>Capa superior.</i> Presión inapreciable. Temperatura baja 15-600 kilómetros (posiblemente la región comprendida entre los 100 y los 600 kilómetros constituya una capa distinta).	1. <i>Atmósfera libre.</i> (<i>Estratósfera superior</i>) Gases enrarecidos. Iones, electrones. Por encima de 80-100 kilómetros de altitud. 2. <i>Estratósfera.</i> Gases enrarecidos (moléculas). En la zona superior, transmisión imperceptible. 3. <i>Tropósfera.</i> Gas ordinario, 0-10-13 kilómetros. 4. <i>Hidrosfera, envoltura líquida.</i> De 0 a 3,800 kilómetros. 5. <i>Litosfera, capa sólida.</i> Su estado característico es el estado cristalino de la materia. a) <i>Litosfera superior:</i> pueden existir coloides. b) <i>Litosfera inferior:</i> cristalina.	1. <i>¿Hidrógeno?</i> Quizá 200 kilómetros por encima del nitrógeno muy enrarecido. 2. <i>¿Helio?</i> 110-220 kilómetros. 3. <i>Nitrógeno.</i> A una altitud superior a los 70 kilómetros. 4. <i>Nitrógeno y oxígeno.</i> (Aire respirable) 5. <i>Hidrosfera.</i> De 0 a 3,800 kilómetros. 6. <i>Corteza de alteración superficial.</i> Presencia característica de agua, oxígeno libre y ácido carbónico.	1. <i>Capa atómica.</i> Región de elementos dispersos. Los átomos libres son estables. 2. <i>¿Gaseosa formada de moléculas y átomos?</i> 3. <i>Biosfera.</i> Región de la vida y de los co-loides.	1. <i>¿Capa electrónica?</i> 2. <i>Capa ultravioleta.</i> Radiación de las ondas cortas y de los rayos penetrantes (¿cósmicos?). Emanaciones radioactivas. 3. <i>Capa luminosa.</i> Radiaciones del espectro ordinario y térmico. Emanaciones radioactivas.

3. <i>Capa metamórfica superior.</i> (Región de cementación) La temperatura es inferior a la temperatura crítica del agua. La presión no altera por completo el estado sólido.		7. <i>Capa sedimentaria.</i> Antigua capa de alteración superficial. 5 kilómetros de profundidad, o más.	4. <i>Región de las moléculas y de los cristales.</i> Compuestos químicos.	4. <i>Capa térmica y radioactiva.</i> En la zona inferior, las ondas radioactivas desaparecen gradualmente.
4. <i>Capa metamórfica inferior.</i> (Región del anamorfismo) Temperatura que sobrepasa la temperatura crítica del agua. 5. <i>Esfera magnética.</i> Profundidad que rebasa los 20-30 kilómetros.	c) <i>Litosfera vítrea:</i> ausencia de estado cristalino sólido. Vitrificado penetrado de gas. En la región más profunda se alcanza el estado semi-líquido, acuoso, saturado de gases.	8. <i>Capa granítica.</i> (Para y ortogneis) Gradualmente se transforman, en la zona inferior, en masas vítreas o viscosas. 9. <i>Capa basáltica y quizá, por debajo, de dunas</i> (¿«eclogitas»?).	5. <i>Magnética.</i> Sin compuestos; ocupada por los gases.	5. <i>Radiaciones térmicas.</i> Sin procesos radioactivos.

En la mayoría de los casos es imposible demarcar, de forma precisa, los límites entre las capas. Todo parece indicar que las superficies de separación entre las mismas se modifican en el decurso del tiempo, a veces con rapidez.

Su forma es muy compleja e inestable⁶. La penuria de conocimientos disponibles, en lo que se refiere al sector comentado del Cuadro, no invalida el tratamiento de las cuestiones que nos ocupan, pues la biosfera, por lo demás, se sustenta en un enorme cuerpo de hechos, libres de hipótesis, adivinaciones, conjeturas y extrapolaciones.

89. De entre todos los factores que determinan los equilibrios químicos, la temperatura y la presión —así como las *capas termodinámicas* en función de ambas variables— revisten una importancia particular, ya que intervienen en todas las modalidades que adopta la materia, en todos sus estados y combinaciones químicas. La construcción del Cosmos, su modelo, siempre es termodinámico.

Debido a tal motivo, la procedencia de los elementos y los fenómenos de su historia geoquímica deben ser objeto de clasificación conforme a las distintas capas (geosferas) termodinámicas. A partir de ahora, designaremos con el término de *vadosos* a los fenómenos y a los cuerpos ligados a la segunda geosfera termodinámica superficial; *freáticos*, a los que están ligados a la tercera y a la cuarta geosferas (metamórficas) y *juveniles* a los que están ligados a la quinta.

La materia que se inscribe en la primera y la sexta capas termodinámicas no alcanza la biosfera, o no se tiene constancia de ello.

La materia viva de primer y segundo orden en la Biosfera

90. Los límites de la biosfera están determinados, en primera instancia, por el *campo de la existencia vital*. La vida únicamente se desarrolla en un medio determinado, bajo unas condiciones físicas y químicas dadas.

Es el medio el que responde a la biosfera. El campo de la estabilidad vital, sin embargo, supera inequívocamente los límites del medio. Desconocemos en qué medida puede rebasarlos, ya que resulta imposible evaluar cuantitativamente *la fuerza adaptativa* de los organismos en el flujo de los tiempos geológicos. La adaptación depende, a todas luces, de la duración

⁶ La capa (básica) de basalto se eleva por debajo de los Océanos y probablemente se sitúa (con relación al nivel marino) en torno a una profundidad de 10 kilómetros en el caso del Océano Pacífico. Esta medida es bastante más considerable en el caso del Océano Atlántico. A veces se estima que la capa granítica subcontinental alcanza un gran espesor. (En opinión de Gutenberg, supera los 50 kilómetros por debajo de Europa y Asia.)

temporal, es una función del tiempo, y se manifiesta en la biosfera en estrecha correspondencia con los millones de años que ésta lleva existiendo. No disponemos de millones de años, por lo cual no es factible reemplazarlos por otro factor en nuestros experimentos.

Hemos llevado a cabo nuestras investigaciones sobre los organismos vivos a base de unos cuerpos que, desde tiempos inconmensurables⁷, se han adecuado a las condiciones ambientales, a la biosfera, y que han elaborado en su seno las materias y la estructura necesarias para vivir. Tales materias se modifican con los ciclos de los tiempos geológicos; ignoramos el alcance de tales cambios y a día de hoy somos incapaces de inferirlo a partir de las investigaciones centradas en su carácter químico⁸.

La deducción fundamental susceptible de extraerse de los hechos expuestos es que la vida, en la corteza terrestre, abarca una parte de las geosferas menor que el campo de su potencial expansión, aun cuando el estudio de la Naturaleza demuestre fehacientemente la adaptación vital a unas condiciones nuevas, así como la evolución de distintas especies de organismos, en la sucesión de los siglos, con el fin de existir en la biosfera.

La mejor formulación para sintetizar el estudio diacrónico de la Naturaleza, la generalización empírica inconsciente sobre la que se cimenta todo nuestro saber y todo nuestro trabajo científico, consiste en afirmar que la vida ha abrazado la biosfera merced a una lenta y gradual adaptación y que tal proceso aún no ha llegado a término (cf. 112, 122). Acusamos constantemente la presión vital circundante (cf. 27, 52) dado que el campo de la vida desborda los límites actuales de la biosfera.

El campo de la estabilidad vital, por tanto, no es sino el producto de la adaptación lograda en el curso de los tiempos. No constituye un resultado permanente ni inmutable: sus fronteras actuales no bastan para ofrecernos una idea clara y completa de los límites posibles para las manifestaciones vitales.

Este campo, tal cual lo confirma el estudio de la paleontología y la ecología, se amplía paulatina y gradualmente en el curso de la existencia del planeta.

91. El campo existencial para los organismos vivos no está determinado exclusivamente por las propiedades físico-químicas de la materia orgánica

⁷ El concepto de «tiempo inconmensurable» es antropocéntrico. De hecho existen, para el tiempo, unas leyes pendientes de ser enunciadas, así como una duración determinada de la materia orgánica en la biosfera (¿más allá de 10⁹ años?).

⁸ Frecuentemente buscamos los límites de la vida en las propiedades físicas y químicas de los compuestos químicos que integran el organismo, por ejemplo en las albúminas que se coagulan a una temperatura de 60°-70°. Ahora bien, no se toman en consideración los complejos dispositivos de adaptabilidad del organismo. Algunas albúminas en estado de deshidratación no cambian a una temperatura de 100° (M. E. Chevreul).

nica, ni por el carácter y las propiedades del entorno, ni por la adaptación del organismo a tales condiciones.

Las condiciones de la respiración y de la nutrición del organismo (es decir, su selección activa de los elementos que requiere para vivir) desempeñan un papel importante y característico.

Hemos destacado ya cuán crucial resulta el intercambio gaseoso de los organismos, su respiración, tanto en el establecimiento de su propio régimen energético como a efectos del régimen gaseoso general del planeta —en particular, de la biosfera.

Tal intercambio y la nutrición (esto es, el transporte de materias sólidas y líquidas que los organismos realizan desde el entorno hasta su campo autónomo, cf. 82) deslindan prioritariamente la región de su hábitat.

Hemos abordado este fenómeno cuando subrayamos la absorción y la transformación de la energía solar por parte de la flora verde (cf. 42).

Es menester que volvamos ahora sobre el tema de manera más detallada.

La fuente de donde los organismos extraen los elementos necesarios para vivir cumple un papel decisivo respecto de los fenómenos de la nutrición y la respiración.

Bajo dicha óptica, los organismos se clasifican en dos categorías claramente distintas, *la materia viva de primer orden*, los organismos *autótrofos* —independientes, a la hora de alimentarse, de los restantes organismos— y *la materia viva de segundo orden*, los organismos *heterótrofos* y *mixótrofos*. La distribución de los organismos en tres grupos en virtud de su nutrición, propuesta por el fisiólogo alemán W. Pfeffer en la década de 1880-1890, constituye una generalización empírica importante, pródiga en consecuencias diversas. Reviste mayor trascendencia en el estudio de la Naturaleza que la que suele atribuírsele.

Los organismos autótrofos construyen sus cuerpos a expensas de la materia inorgánica «muerta» exclusivamente; todos los compuestos orgánicos que contienen nitrógeno, oxígeno, carbono e hidrógeno —constituyentes esenciales de su masa corporal— los obtienen del reino mineral. Ellos mismos transforman los elementos de la Naturaleza inerte en compuestos orgánicos complejos imprescindibles para la vida. Los organismos heterótrofos utilizan como nutrientes los compuestos orgánicos preexistentes, creados por otros organismos vivos. El trabajo preliminar de los organismos autótrofos es necesario, a fin de cuentas, para que existan los heterótrofos. El carbono y el nitrógeno, en particular, los extraen éstos fundamentalmente de la materia viva.

El origen del carbono y del nitrógeno, en el caso de los organismos mixótrofos, es doble: en parte proceden de la materia viva, en parte de los minerales, productos inertes de la Naturaleza.

92. Sin duda la cuestión de la fuente de la cual extraen los organismos los elementos necesarios para subsistir es más compleja de lo que cabría pensar en un principio, pero la clasificación propuesta por W. Pfeffer corresponde, según todos los indicios, a un rasgo fundamental de la Naturaleza viva.

No hay organismo que no esté ligado, siquiera parcialmente, a la materia inorgánica por la respiración y la nutrición. La separación de los organismos autótrofos de las restantes materias vivas se apoya en su independencia de éstas en lo que atañe a *los elementos químicos* que pueden obtener, sin excepción, del medio inorgánico, inerte.

Extraen los elementos necesarios para la vida de determinadas moléculas, de compuestos.

Un gran número de moléculas confinadas en la biosfera y necesarias para la vida no dejan de ser a su vez un producto vital, de suerte que, si no hubiera vida, no se hallarían en el mundo inerte. Así ocurre, por ejemplo, con el oxígeno libre (O_2) en su totalidad, y mayoritariamente con casi todos los gases, como el anhídrido carbónico (CO_2), el amoníaco (NH_3), el ácido sulfhídrico (H_2S), etc. El papel de la vida en la génesis de las *soluciones acuosas naturales* no es menor. Los fenómenos de la nutrición y de la respiración están íntimamente ligados a tales soluciones. El agua natural, no el agua químicamente pura, es la que precisa la vida tanto como el intercambio gaseoso.

En lo que se refiere a que la vida transforma profundamente el carácter de los cuerpos químicos de la materia inerte en el medio donde se manifiesta, conviene señalar los límites de la autonomía de los organismos autótrofos con relación a aquélla. No es procedente sacar la conclusión lógica, muy difundida, de que los organismos autótrofos actuales podrían subsistir solos en el planeta. No se trata, sin más, de que hayan sido engendrados invariablemente por otros seres autótrofos, de su misma clase, sino que hay que ponderar que han obtenido los elementos necesarios para existir en formas de la materia inerte creadas con anterioridad por los organismos.

93. Así, el oxígeno libre es un requisito para que vivan los organismos autótrofos verdes. Ellos mismos lo crean con el agua y el ácido carbónico. Siempre es un producto bioquímico extraño a la materia inerte de la biosfera.

Por lo demás, no podríamos asegurar si nos estamos refiriendo al único elemento vitalmente necesario que está ligado en su génesis a la propia vida. J. Bottomley, por ejemplo, ha planteado el problema de la importancia de los compuestos orgánicos complejos disueltos en agua para la existencia de las plantas verdes acuáticas, que él llama *auxónomas*. Aun cuando su hipótesis especial sea objeto de controversia y no se haya establecido la existencia

de los seres auxónomos, J. Bottomley ha abordado en sus investigaciones un hecho de mayor alcance que el de la mera existencia de tal clase de organismos. En el cuadro científico de la Naturaleza, la importancia de las huellas imperceptibles, frecuentemente desestimadas, de los compuestos orgánicos omnipresentes en el agua natural —dulce o salada— crece sin cesar. Todas estas materias orgánicas, cuya masa subsistente en cada momento y renovada en la biosfera equivale a varios cuatrillones de toneladas, son un producto de la vida; no sabríamos decir si están ligadas, por su origen, a los organismos autótrofos exclusivamente. Más bien comprobamos por doquier, desde la perspectiva de la nutrición de los organismos y la génesis de los minerales bituminosos, la enorme importancia de los compuestos de este tipo, ricos en nitrógeno, creados por los organismos heterótrofos y mixótrofos.

El cuadro de la Naturaleza desvela permanentemente la presencia de estos cuerpos sin tener que recurrir al análisis químico. Se les debe la formación de la espuma en los mares o en cualquier otra agua natural; las películas irisadas que recubren millares, millones de kilómetros cuadrados de superficies acuáticas. Tales compuestos tiñen los ríos y los humedales, los lagos de las tundras, los ríos negros y pardos de las regiones tropicales y subtropicales. Además de en los habitantes acuáticos, están en todos los restantes organismos, porque pululan en la propia capa verde de tierra firme, donde van infiltrándose sin cesar con la lluvia, el rocío y, especialmente, con las soluciones del suelo.

La cantidad de microorganismos parcialmente disueltos en las aguas naturales, en dispersión coloidal, fluctúa entre 10^{-6} y $10^{-2}\%$. Porcentualmente, su masa media dentro del mar se le asemeja mucho; es decir, equivale a 10^{18} - 10^{20} toneladas. Tamaña magnitud supera, al parecer, la masa de la materia viva. Su importancia va conquistando paulatinamente el pensamiento científico contemporáneo. Entre los antiguos naturalistas, con frecuencia encontramos ya interpretado (a veces, desde un enfoque sorprendente) este fenómeno grandioso.

En la década de 1870-1880, R. Mayer, un fisiólogo genial, subrayó en una breve comunicación el papel crucial de estos organismos en la composición de las aguas medicinales y en la economía general de la Naturaleza. El estudio posterior de la génesis de los minerales vadosos y freáticos refuerza aún más su protagonismo.

94. La génesis bioquímica de los cuerpos de la materia inerte, vitalmente indispensable para los organismos autótrofos, no reduce la enorme distancia que los separa de los heterótrofos y los mixótrofos. Conviene simplemente que interpretemos de modo más restrictivo el autotrofismo, sin excedernos a la hora de valorarlo.

Llamaremos autótrofos a los organismos de la biosfera actual que obtienen todos los elementos químicos necesarios para subsistir de la materia inerte del

medio, en los minerales, y que no han de recurrir a los compuestos orgánicos preparados por otros organismos vivos para construir sus cuerpos.

En una definición que verse sobre un fenómeno natural es imposible sintetizar el fenómeno con todas sus facetas. Forzosamente existen estados transitorios o casos ambiguos, como por ejemplo ocurre con los *sapófitos*, que se nutren de organismos muertos y en fase de putrefacción. No obstante, la alimentación esencial de los sapófitos se compone casi siempre (quizá siempre) de microorganismos vivos que se instalan en los cadáveres y en los restos orgánicos.

Al limitar el concepto de «autótrofos» al ámbito de la biosfera *actual*, excluimos la posibilidad de sacar conclusiones sobre el particular con referencia al pasado de la Tierra, especialmente en lo que atañe a la hipótesis de una biogénesis bajo la forma de cualesquiera organismos autótrofos. Pues nos cabe la certeza de que, para todos los organismos autótrofos existentes, resulta indispensable la presencia previa de productos vitales en la biosfera (cf. 92).

95. La distinción entre materias vivas de primer y segundo orden cristaliza, con nitidez, en la distribución de unas y otras en la biosfera. La región accesible a la materia viva de segundo orden, vinculada a los organismos autótrofos para subsistir y alimentarse, siempre es más amplia que el hábitat de éstos últimos.

Los organismos autótrofos se clasifican en dos grupos muy definidos: por un lado, los organismos verdes con clorofila, las plantas verdes, y por otro lado, el mundo de las bacterias, caracterizado por sus dimensiones exiguas y su reproducción muy intensa.

Sabemos que los organismos verdes con clorofila componen el mecanismo esencial de la biosfera, un mecanismo que capta los rayos solares luminosos y que, mediante la fotosíntesis, crea los cuerpos químicos cuya energía, posteriormente, se convierte en fuente de la energía química activa de la biosfera y, en un sentido amplio, de toda la corteza terrestre.

El campo de existencia de estos organismos verdes autótrofos viene impuesto, en primera instancia, por el campo de penetración de los rayos solares (cf. 23).

Su masa es muy grande comparada con la de la materia animal (cf. 46); quizá equivalga a la mitad de toda la materia viva. Poseen unos dispositivos gracias a los cuales captan los rayos luminosos débiles y los utilizan íntegramente.

Es muy posible que, en épocas diferentes, la formación de materia verde haya sido más o menos intensa, pero esta opinión tan divulgada no puede considerarse como un hecho establecido.

La inmensa cantidad de materia que abarcan los organismos verdes, su ubicuidad, su propagación allá donde llegan los rayos solares, suscita en

ocasiones la creencia de que constituyen el pilar de la vida. Se admite asimismo que, en el curso de los ciclos geológicos, se han transmutado evolutivamente en múltiples organismos, los organismos que configuran la materia viva de segundo orden. Actualmente determinan la existencia del mundo animal, así como de una ingente cantidad de organismos vegetales sin clorofila: hongos, bacterias.

En la superficie de la corteza terrestre llevan a cabo el trabajo químico fundamental: crean el oxígeno libre al destruir, mediante la fotosíntesis, unos cuerpos oxidados tan estables, tan universales, como el agua y el ácido carbónico. Indudablemente vienen realizando idéntico cometido desde los períodos geológicos pretéritos. Los fenómenos de alteración superficial prueban consistentemente que, en la era arqueozoica, el oxígeno libre desempeñaba a todas luces el papel sobresaliente que desempeña en la biosfera actual. La composición de los productos de alteración superficial, sus relaciones cuantitativas eran, según puede afirmarse, las mismas en la era arqueozoica que lo son ahora. El mundo vegetal verde significó, en aquellos tiempos primitivos, la fuente del oxígeno libre, cuya masa era del mismo orden que la actual. Las cantidades de materia orgánica verde y de la energía radiante del Sol que la hizo brotar (cf. 57) no debían variar sensiblemente, en aquella época misteriosa y remota, respecto de su medida actual.

Ahora bien, carecemos de restos de organismos verdes que daten de la era arqueozoica. Tales vestigios comienzan a concatenarse sólo a partir de la era paleozoica. Prueban la evolución ininterrumpida e intensa de innumerables formas de estos organismos, cuya magnitud alcanza actualmente un valor de 200.000 especies. La cifra total de las que han existido y siguen existiendo en nuestro planeta —una cantidad que no es fortuita— es aún incalculable, puesto que el número relativamente bajo de sus especies fósiles (varios miles) es meramente imputable a la imperfección de nuestros conocimientos. Este número se incrementa cada década, por no decir de año en año.

96. Las bacterias autótrofas representan una cantidad notablemente menor de materia viva; mientras que la existencia y el alcance geoquímico de los organismos autótrofos verdes fueron descubiertos y explicados a finales del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX —los trabajos de J. Boussingault, J. B. Dumas, J. Liebig les dieron el espaldarazo científico en la década de 1840-1850—, el concepto de bacterias autótrofas desvinculadas de los rayos solares y exentas de clorofila, descubiertas por S. N. Winogradsky, data de finales del siglo XIX, pero no ejerció de entrada, en el pensamiento científico, la influencia que cabía esperar. El papel de estos organismos en la historia geoquímica del azufre, del hierro, del nitrógeno, del carbono, es sumamente importante. No discernimos muchas especies, las

situamos en torno a las cien, y no cabe compararlas por su masa con las plantas verdes.

Es cierto que están distribuidas por doquier: las encontramos en el suelo, en el cieno de las cuencas hídricas, en los mares; pero nunca en cantidades análogas a las que reúnen las plantas verdes autótrofas de tierra firme, sin mencionar las del plancton verde en la hidrosfera. No obstante, la energía geoquímica de las bacterias es de un orden mucho más elevado que el de las plantas verdes; la supera en decenas, centenares de veces y representa la energía máxima para la materia viva. Con todo, la energía geoquímica cinética por hectárea termina siendo del mismo orden para las algas verdes unicelulares y las bacterias. Ahora bien, mientras que las algas son capaces de rozar el número estacionario en cuestión de diez días, las bacterias requieren para ello una sola jornada en condiciones propicias.

97. Disponemos de escasas observaciones sobre la multiplicación de las bacterias autótrofas. Según J. Reinke, se reproducen más despacio que las heterótrofas. Las observaciones sobre las bacterias del hierro (N. G. Chodnny) no contradicen este hecho. Así, se escinden una o dos veces en 24 horas ($\Delta = 1-2$), cuando una escisión del mismo orden, para las bacterias ordinarias, se observaría sólo en condiciones hostiles; tal sería el caso del *Bacillus ramosus*, que habita en los ríos y que, creando en condiciones propicias 48 generaciones como mínimo en 24 horas, crea únicamente 4 si las temperaturas son bajas (M. Ward).

Incluso en el supuesto de que una multiplicación lenta fuera un rasgo vital característico de todas las bacterias autótrofas en general, su multiplicación seguiría siendo mucho más intensa que la de las plantas unicelulares verdes.

La velocidad a la que se transmite su energía geoquímica en la biosfera (velocidad v) sería, por tanto, considerablemente mayor que la de las plantas verdes sin excepción; deberíamos pues esperar que las masas bacterianas en la biosfera sobrepasaran, en un amplio margen, a las masas de organismos verdes y que el fenómeno observado en el mar, en el caso de las algas unicelulares (cf. 51), su prevalencia sobre los metafitos verdes, se repitiera con las bacterias; es decir, que éstas predominaran sobre las protistas verdes del mismo modo que las protistas predominan sobre los metafitos.

98. No acontece así en la práctica. El hecho de que esté restringida la acumulación de materia orgánica bajo la modalidad bacteriana obedece a causas como las que explican la hegemonía de los metafitos verdes sobre las protistas verdes en tierra firme (cf. 49).

Su ubicuidad es portentosa; por ejemplo, penetran en todas las capas oceánicas, en regiones fuera del alcance de los rayos solares, de lo cual inferimos que su presencia en unas cantidades relativamente exiguas en la

biosfera, detectadas en el caso de variedades tan dispares como las bacterias reductoras de nitratos y sulfatos o las bacterias del hierro, no podría atribuirse a causas específicas, sino que implica el efecto de un fenómeno general.

Este rasgo se confirma cuando atendemos a las condiciones tan peculiares de su nutrición, que limitan su campo existencial. Reciben toda la energía necesaria al culminar la oxidación de los compuestos naturales del nitrógeno, del azufre, del hierro, del manganeso, del carbono, apenas oxidados o sin oxidar. Ahora bien, los cuerpos primarios y pobres en oxígeno que les resultan indispensables, los minerales vadosos de dichos elementos nunca pueden ser almacenados en la biosfera en cantidades suficientes. *El ámbito de la biosfera* equivale, en definitiva, al *territorio químico de la oxidación*, saturada como está de oxígeno libre producido por los organismos verdes. En nuestro medio rico en oxígeno, los compuestos más oxidados, los que contienen más oxígeno, representan las formas más estables.

Las bacterias autótrofas deben pues buscar activamente su medio vital idóneo. Se organizan con el fin de acomodarse a los factores que determinan su nutrición.

Son capaces (al parecer, las bacterias del nitrógeno lo tienen como pauta) de oxidar los compuestos que ya están oxidados, de obtener la energía necesaria para existir transformando los cuerpos menos oxidados en cuerpos totalmente oxidados; no obstante, no abundan los elementos químicos susceptibles de reaccionar así en la biosfera. Por otra parte, los mismos compuestos estables finales, ricos en oxígeno, se originan con independencia de las bacterias a través de procesos estrictamente químicos, ya que la biosfera es, por antonomasia, el medio donde tales estructuras moleculares son estables.

99. *Las bacterias autótrofas se encuentran en un estado crónico de escasez de nutrientes.* Por ello se adaptan de múltiples formas a la vida. Por doquier se aprecian —en las ciénagas, en las fuentes termales, en los mares, en los suelos húmedos— unos equilibrios secundarios llamativos entre las bacterias reductoras de sulfatos y los organismos autótrofos que los oxidan. Las primeras marcan las condiciones de existencia para los segundos.

La repetición infinita y constante de tales equilibrios secundarios indica que el fenómeno se integra en un mecanismo regular. La materia orgánica ha elaborado estas estructuras debido a la enorme presión vital de las bacterias autótrofas (cf. 29), que no hallan en la biosfera, en cantidad suficiente, compuestos a su medida, pobres en oxígeno, necesarios para su existencia. La materia viva los crea en tal caso, ella misma, en el medio inerte —donde no se encuentran.

En el Océano se observan equilibrios idénticos entre las bacterias autótrofas que oxidan el nitrógeno y los organismos heterótrofos que liberan el

oxígeno de los nitratos. Estamos ante uno de los prodigiosos equilibrios químicos de la hidrosfera.

La ubicuidad de estos organismos constituye la prueba tanto de su inmensa energía geoquímica como de la gran velocidad a la que se multiplican; el hecho de que no se presenten en condensaciones apreciables se explica por la escasez de compuestos pobres en oxígeno en la biosfera, un medio donde las plantas verdes lo liberan de continuo. Si las bacterias no representan masas considerables de materia viva, ello obedece al imperativo físico de que en la biosfera faltan los compuestos que precisan para existir.

Necesariamente han de regir unas relaciones cuantitativas determinadas, aun cuando las ignoremos, entre la cantidad de materia que abarcan en la biosfera los organismos autótrofos verdes y la que abarcan las bacterias autótrofas.

100. Ha cundido la opinión de que estos curiosos organismos, tan singulares, eran los representantes de los organismos más primitivos, precursores de las plantas verdes. Un naturalista y pensador eminente de nuestros días, el americano F. Osborn (1918), ha defendido todavía recientemente esta tesis.

La observación del papel que cumplen en la biosfera contradice tal opinión. El estrecho vínculo que une la existencia de las bacterias a la presencia de oxígeno libre prueba que dependen de los organismos verdes, de la energía radiante del Sol —una dependencia que, en un grado igualmente acusado, afecta a los animales y a las plantas sin clorofila que se nutren de materias elaboradas por las plantas verdes—. Pues en la Naturaleza, en la biosfera, todo el oxígeno libre, alimento de estos cuerpos, es obra de la flora verde.

El carácter de las funciones bacterianas en la economía general de la Naturaleza viva revela también su importancia por analogía con la que tienen las plantas verdes. Su relevancia es enorme en la historia biogeoquímica del azufre y del nitrógeno, los dos elementos indispensables para la construcción de la materia básica del protoplasma, las moléculas de albúmina. Ahora bien, si la actividad de estos organismos autótrofos se paralizara, quizá la vida sufriría una merma cuantitativa, pero continuaría siendo un mecanismo potente de la biosfera, ya que los mismos compuestos vadosos, nitratos, sulfatos, y las formas gaseosas del nitrógeno y del azufre, el amoníaco y el ácido sulfhídrico, se crean en su seno en abundancia al margen de la vida.

Sin que pretendamos pronunciarnos sobre el tema del autotrofismo (cf. 94), ni sobre la génesis de la vida terrestre, asumiremos con un alto grado de probabilidad la dependencia de las bacterias autótrofas de los organismos verdes, así como los rasgos que podemos deducir sobre su formación comparándola con la de las plantas.

Todo indica que las bacterias autótrofas son unas formas vitales que utilizan al máximo la energía solar, perfeccionando el mecanismo «rayos solares-organismo verde», lejos de constituir una modalidad de vida terrestre independiente de las radiaciones cósmicas.

El mundo heterótrofo sin excepción, de un polimorfismo sorprendente —animales y hongos, un sinnúmero de especies orgánicas—, equivale a una manifestación del mismo proceso.

101. La distribución de la materia orgánica en la biosfera, tal cual se efectúa, viene a corroborar la validez de nuestro enfoque.

Tal distribución está totalmente determinada por el campo de estabilidad de la flora verde; en otras palabras, por el ámbito planetario donde inciden los rayos solares.

La masa principal de materia viva se concentra entre sus límites; por lo demás, las condensaciones de vida, en presencia de agua, se intensifican en razón directa con la luminosidad.

También en tales condiciones se acumulan los organismos heterótrofos y las bacterias autótrofas, íntimamente vinculados para subsistir, ora con los productos vitales de las plantas verdes (el oxígeno libre, en primera instancia), ora con los compuestos orgánicos complejos que éstas elaboran.

Los organismos heterótrofos y las bacterias autótrofas migran desde la región alumbrada por el Sol hasta el ámbito de la biosfera donde no hay luz ni flora verde. Un gran número de los mismos habitan zonas tenebrosas exclusivamente. Suele convenirse en que son originarios de la superficie terrestre iluminada y que se han ido adaptando progresivamente a las nuevas condiciones ambientales. Cabe admitirlo, ya que el estudio morfológico del mundo animal que puebla las cuevas terrestres y los abismos marinos evidencia —en ocasiones, inequívocamente— que esta fauna cuenta con unos antepasados en su momento colonizadores de las regiones alumbradas del planeta.

Las condensaciones de vida sin organismos verdes adquieren una importancia singular desde el punto de vista geoquímico. Nos referimos a la película vital que recubre el fondo de la hidrosfera (cf. 130), a las zonas inferiores de las *concentraciones litorales* oceánicas, a los *lechos* de las cuencas hídricas en tierra firme (cf. 158). Más adelante se nos hará evidente la relevancia del papel que juegan en la historia química del planeta. Nos cabe la certeza, sin embargo, de que la existencia de los organismos que pueblan estas áreas está ligada, de manera directa o indirecta, a los organismos de las regiones vitales verdes. No sólo porque a través del estudio de su morfología o de las investigaciones paleontológicas resulte a menudo factible establecer la génesis de estas materias vivas de segundo orden a partir de aquellas que habitan la superficie iluminada del planeta, sino porque la energía solar luminosa constituye la base inmutable de su sustento cotidiano.

La propia existencia de la película vital que tapiza el lecho oceánico se relaciona estrechamente con los restos orgánicos de las aguas superficiales, unos restos que caen hasta el fondo sin haber llegado a descomponerse por completo o sin haber sido devorados por otros organismos. Por consiguiente, es en la región de la biosfera alumbrada por el Sol, en la luz solar, donde es menester buscar la fuente última de la energía de esta película vital. El oxígeno libre, producto del trabajo de las plantas verdes, penetra dentro del agua de mar desde la atmósfera, infiltrándose en las profundidades. El oxígeno libre es la única fuente bioquímica de la que tenemos constancia. Los organismos anaerobios, característicos de las zonas subyacentes a la película vital del suelo oceánico, están existencialmente supeditados a los organismos aerobios y sus productos, de los cuales se alimentan.

Todo indica que estas manifestaciones de la vida se sitúan en las regiones tenebrosas en estado de evolución permanente y que su campo se amplía sin cesar.

Una penetración lenta e ininterrumpida de la materia viva en las dos direcciones a partir de la capa verde en las regiones azoicas del planeta va aconteciendo, al parecer, en el curso de los tiempos geológicos, incluso en nuestros días.

En esta etapa de extensión del campo de la vida vital es en la que ahora nos encontramos.

102. La creación bioquímica de nuevas modalidades de energía luminosa, en el caso de la materia viva heterótrofa, puede significar una manifestación, entre otras posibles, de la ampliación del campo de la vida.

La fosforescencia de los organismos, la radiación biógena de ondas luminosas con una longitud idéntica a la de las emanaciones cósmicas del Sol en la superficie terrestre, gana intensidad en los abismos oceánicos; crea la energía vital y modifica químicamente el planeta.

Sabemos que la manifestación de tales radiaciones luminosas secundarias, la luminiscencia de la superficie marina, ininterrumpida en áreas de cientos de miles de kilómetros cuadrados, permite al plancton verde proseguir con su trabajo químico a las horas en que no recibe luz solar.

¿Supone la fosforescencia de los seres que pueblan los abismos oceánicos la manifestación nueva del mismo mecanismo? ¿Se origina un resurgimiento de la vida en virtud de la transmisión de la energía solar cósmica del Sol hasta unas profundidades de varios kilómetros por debajo de la superficie del mar, adonde la energía cósmica no podría llegar sin la ayuda de dicho mecanismo? Lo ignoramos. No obstante, es preciso recordar que las expediciones oceanográficas han hallado organismos vivos verdes a unas profundidades que rebasan, con mucho, el alcance de los rayos solares. El

vapor «Valdivia» descubrió el alga *Halionella viva*, a unos dos kilómetros de profundidad, en el Océano Pacífico.

Si la materia orgánica fuera capaz de transferir a nuevos territorios la energía luminosa del Sol no sólo bajo la forma de compuestos químicos inestables en la envoltura termodinámica que corresponde a la biosfera (cf. 82) —es decir, bajo la forma de energía química—, sino también en la modalidad de energía luminosa de formación secundaria, estaríamos ante la señal en la historia de la biosfera, provisional quizá, de que se extiende el dominio principal de la fotosíntesis en una cuantía reducida, de un orden análogo al de la energía luminosa creada por la civilización humana.

Esta nueva energía luminosa que introduce el hombre en la biosfera es utilizada por las plantas verdes, pero por ahora repercute sólo en una proporción insignificante en la fotosíntesis cósmica general del planeta.

En definitiva, la materia viva verde, que delimita en la Tierra el campo de existencia vital, es función de la luz solar.

En las páginas que siguen destacaremos esta parte fundamental de la materia viva a fin de abordar todas las restantes manifestaciones de la vida atendiendo a sus relaciones con aquélla.

Los límites de la vida

103. El campo de la estabilidad vital traspasa los límites de la biosfera; las variables independientes que lo determinan: temperatura, composición química, etc., actúan más allá de sus fronteras características.

Este campo prefigura en qué regiones puede la vida expandirse plenamente; no parece estar definido con rigor ni ser inmutable.

El rasgo sobresaliente de los seres vivos es su mutabilidad, su adaptabilidad a las condiciones ambientales. Debido a ello, los organismos son capaces de acomodarse, al cabo de unas generaciones, a un hábitat en un principio adverso.

Actualmente no estamos facultados para determinar un potencial semejante siquiera por medio de experimentos intensos: no disponemos, a escala geológica, del tiempo requerido para que la adaptación se haga patente. La materia viva, el mundo orgánico, no es una materia inerte: se rige por un equilibrio dinámico que ejerce una presión sobre el entorno, una presión que se coaliga con el tiempo, aunque no sepamos cómo.

Un campo de estabilidad vital con las características apuntadas, apoyado en la adaptación de los organismos, es además *heterogéneo*. Se distinguen dos niveles: el *campo de gravitación*, en el caso de los organismos vo-

luminosos, y el *campo de fuerzas moleculares* ocupado por los organismos que no llegan a medir ni 10^{-4} centímetros (microbios, etc.), cuya vida y cuyos movimientos, sobre todo, se rigen principalmente por las radiaciones luminosas y de otra índole, en vez de por la gravitación.

La extensión de cada campo depende de la adaptabilidad de los organismos: no podemos demarcar con exactitud ninguna de las dos áreas.

Tomaremos en consideración: 1.º la temperatura; 2.º la presión; 3.º el estado de la materia en el medio; 4.º su quimismo; 5.º la energía luminosa. He aquí los factores capitales que dirimen uno y otro campo de estabilidad.

104. Por otra parte, debemos distinguir dos tipos de condiciones: 1.º: las que traban el desarrollo de la vida, pero sin bloquear el ejercicio de todas sus funciones; es decir, las condiciones que, aunque hacen sufrir al organismo, no conllevan su muerte; 2.º: las condiciones que favorecen su multiplicación; es decir, que le permiten incrementar la masa viva y la energía activa del planeta.

En virtud del parentesco genético que engloba a toda la materia viva, cabe suponer que tales condiciones vienen a ser prácticamente las mismas para la totalidad de los organismos. Para el mundo vegetal verde comparado con el mundo de los seres heterótrofos, sin embargo, el ámbito queda reducido a menores límites.

En última instancia, esta frontera la trazan las propiedades físico-químicas *de los compuestos* que constituyen el organismo; viene impuesta por su estabilidad en las condiciones específicas del medio. Ahora bien, hay casos donde se aprecia que, antes de la desagregación de los compuestos, se destruyen los mecanismos que éstos han creado y que determinan las funciones vitales.

Los propios compuestos, así como los mecanismos que construyen, van modificándose permanentemente en el curso de los tiempos geológicos, pues se ajustan a los cambios en la biosfera.

Podemos ilustrar la extensión máxima del campo de la vida actual valiéndonos de algunos ejemplos extremos de supervivencia a cargo de determinados organismos.

105. La temperatura más elevada que puede soportar un organismo sin perecer se aproxima, entre ciertos seres heterótrofos —sobre todo en estado de latencia, como por ejemplo las esporas de los hongos—, a 140 grados centígrados. Este umbral varía según la sequedad o humedad del hábitat del organismo.

Los experimentos de L. Pasteur sobre la generación espontánea dejaron establecido el hecho de que un aumento de la temperatura hasta 120 grados centígrados, en un medio húmedo, no destruía todas las esporas de los

microbios. Esta destrucción exigiría rebasar al menos los 180 grados centígrados (M. Duclaux)⁹. En los experimentos de M. Christen, las bacterias del suelo sobreviven durante cinco minutos a una temperatura de 130 grados y, durante un minuto, a 140 grados. Las esporas de una bacteria descrita por M. Zettnow, sometidas durante 24 horas (B. L. Omeliansky) a la acción de un chorro de vapor de agua, no fueron aniquiladas.

El campo de estabilidad se amplía con temperaturas bajas. Las experiencias del Instituto Jenner, en Londres, han verificado la estabilidad, en el hidrógeno líquido, de esporas bacterianas durante 20 horas a -252 grados centígrados. M. Mackfaydan ha aportado datos sobre microorganismos que se han conservado intactos en el aire líquido durante varios meses, a una temperatura de -200 grados centígrados. En las investigaciones de P. Becquerel, las esporas de mucoríneas permanecieron 72 horas en el vacío, a una temperatura de -253 grados centígrados, sin perder su capacidad vital; asimismo, semillas de distintas plantas han soportado 10 horas y media de permanencia en el vacío a una temperatura aún más baja, a -269 grados centígrados.

Cabe pues considerar el intervalo de 450 grados centígrados como el campo térmico límite donde determinadas formas de vida de nuestros días pueden subsistir incólumes. Tal intervalo se restringe considerablemente en el caso de las plantas verdes. No contamos con experimentos fidedignos al respecto, pero es dudoso que ese intervalo supere los 160° - 150° (de +80° a -60°).

106. Los límites de la presión -del campo vital dinámico- pueden dilatarse mucho. Los experimentos de G. Chlopine y de G. Tammann han demostrado que las mucoríneas, las bacterias, las levaduras, pueden soportar una presión de 3.000 atmósferas sin que, en apariencia, se alteren sus propiedades. La vida de las levaduras se mantiene a una presión de 8.000 atmósferas. Por otra parte, las formas de vida latente, semillas o esporas, se conservan largo tiempo en el vacío; es decir, a una presión de millonésimas de atmósfera. No parece que haya diferencias entre los organismos heterótrofos y los organismos verdes (esporas, simientes).

107. Se ha insistido a menudo en la importancia que revisten las ondas de energía luminosa de una longitud determinada para las plantas verdes. En ellas radica la base de toda la estructura de la biosfera. Los organismos

⁹ Esta opinión de los colaboradores de Pasteur, en el marco de su célebre discusión con G. Pouchet, parece revestir mayor importancia para determinar la temperatura máxima del campo térmico vital que las investigaciones basadas en los cultivos de laboratorio. Se fundamenta en el estudio de las propiedades de las infusiones de heno, más próximas al medio complejo de la vida en la corteza terrestre que nuestros cultivos experimentales.

verdes mueren antes o después en función de la luz. Los organismos heterótrofos y las bacterias autótrofas, por lo menos algunos de entre ellos, pueden vivir en la oscuridad, pero el carácter del medio «oscuro» (de ondas largas infrarrojas) aún no ha sido estudiado.

Por otra parte, nos consta que las ondas cortas de una longitud concreta resultan mortíferas.

El medio característico de las ondas muy cortas (cf. 114) de los rayos ultravioletas es inanimado. Los experimentos de P. Becquerel han demostrado que tales rayos, dotados de una vibración intensa, aniquilaban cualquier forma viviente en un lapso brevísimo. El medio donde están presentes, el espacio interplanetario, no es apto para las formas de vida que se han desarrollado en la biosfera, a pesar de que ni la temperatura, ni la presión, ni la esencia química de dicho espacio las excluyan. Es menester investigar, con la mayor precisión y minuciosidad posibles, los confines de la vida en las diversas regiones de la energía radiante en vista de la interdependencia, a todas luces innegable, entre el desarrollo vital en la biosfera y la radiación solar.

108. La vida puede experimentar cambios químicos a gran escala. Los organismos anaerobios descubiertos por L. Pasteur evidenciaban que la vida existía en un medio carente de oxígeno libre. Se ensanchó notablemente el campo vital admitido con anterioridad merced a este hallazgo.

Los organismos autótrofos descubiertos por S. Winogradsky han dejado patente que un medio exclusivamente mineral, sin compuestos orgánicos previamente elaborados, podía albergar vida.

Las esporas y las simientes -formas de vida en estado latente- al parecer podían resistir intactas, indefinidamente, en un medio exento de gas y agua, totalmente seco.

Al mismo tiempo, diversas formas de vida subsisten sin menoscabo en los medios químicos más variados, en los umbrales del campo termodinámico existencial. El *Bacillus boracicola*, que puebla las fuentes termales de la Toscana, es capaz de vivir en una solución saturada de ácido bórico. Soporta fácilmente la solución de ácido sulfúrico al 10% con una temperatura ambiente ordinaria (Bargagli Petrucci, 1914). Tenemos constancia de que organismos como las mucoríneas resisten en soluciones concentradas de sales diversas, funestas para otros seres. Algunos de estos organismos viven en soluciones saturadas de vitriolo, de nitrato, de niobato de potasio. El *Bacillus boracicola* ya mencionado tolera las soluciones sublimadas al 0,3%, mientras que otras bacterias e infusorios soportan incluso soluciones saturadas (M. Besredka, 1925). Las levaduras viven en soluciones de hidrofúoruro de sodio. Las larvas de algunas moscas no perecen en solución de formol al 10%. Hay bacterias que se multiplican en una atmósfera de oxígeno libre (V. Henri, 1914).

Los fenómenos descritos están relativamente poco estudiados, pero la adaptación de las formas de vida que los ilustran parece infinita.

No obstante, únicamente se trata de organismos heterótrofos. El desarrollo de los organismos verdes exige la presencia de oxígeno libre, siquiera en solución acuosa. Las soluciones salinas saturadas, sin ir más lejos, impiden que las plantas verdes germinen.

109. Aun cuando algunas formas de vida estén facultadas para conservarse en estado latente, sin perecer en un medio completamente deshidratado, *el agua* en el estado fluido y gaseoso supone un requisito ineludible para el crecimiento y la reproducción de los organismos, para que se expandan en la biosfera.

La energía geoquímica de los organismos, bajo la modalidad de su multiplicación, pasa de la forma potencial a la forma libre sólo en presencia de un agua que contenga disueltos los gases necesarios para la respiración.

La importancia del agua es obvia en el caso de las plantas verdes y así se reconoce, por lo general, desde antaño. El pilar de la vida por antonomasia, la vida verde, no puede prescindir del agua.

En tiempos recientes, sin embargo, hemos tenido ocasión de profundizar en el mecanismo de la acción del agua. La importancia, a efectos vitales, de la reacción alcalina o ácida de las soluciones acuosas donde habitan los organismos, así como el grado y el carácter de su ionización, se ha tornado más evidente.

El papel de tales fenómenos es esencial, pues la masa principal de la materia viva, formulada mediante su peso, se concentra en el agua natural de la biosfera, y las condiciones de vida para cualquier organismo están en estrecha correspondencia con las soluciones acuosas naturales. La materia de todos estos organismos está básicamente compuesta de soluciones acuosas o lechos acuosos¹⁰. El protoplasma puede considerarse como un lecho acuoso donde las coagulaciones y los cambios coloidales se producen en los líquidos internos de los organismos. Los fenómenos de ionización se suceden por doquier. Gracias a la incesante acción recíproca que ejercen entre sí, por un lado, las soluciones acuosas del medio y, por otro, los líquidos internos de los organismos que anidan en estas aguas naturales, las relaciones de ionización de los dos medios adquieren una gran trascendencia.

Merced a unos sutiles procedimientos de investigación, cabe establecer la variación exacta de la ionización que se origina. Es un recurso excelente para analizar el cambio del medio principal, la concentración de vida.

¹⁰ Los organismos contienen, con relación a su peso, de un 60 a un 99% de agua (quizá más); es decir, se componen, en un 80-100%, de soluciones acuosas y lechos acuosos.

El agua marina contiene en torno a un 10⁻⁹% de iones H⁺, es ligeramente alcalina, y este pequeño predominio de los iones OH⁻ sobre los iones H⁺ persiste por lo general, ya que se restablece constantemente, por muy frecuentes que sean los procesos químicos que se efectúan en el mar (ionización pH = 8).

La ionización favorece enormemente la vida de los organismos marinos; las más débiles oscilaciones repercuten siempre en la Naturaleza viva, positiva o negativamente según las especies.

Sabemos que la vida existe sólo entre determinados límites de ionización, 10⁻⁵% para H⁺ y 10⁻¹⁰% para H⁺ (es decir, pH = 5 - 10). La vida es impracticable fuera de tal intervalo.

110. El estado de la materia del entorno cumple un papel primordial para la manifestación de la vida.

Aparentemente, la vida persiste en estado latente en el entorno de todos los estados de la materia: líquido, sólido y gaseoso, así como en el vacío absoluto. Las experiencias demuestran, por lo menos, que las simientes son capaces de conservarse temporalmente sin intercambio gaseoso —es decir, en todas las fases de la materia— en los límites del campo térmico vital. No obstante, cuando sus funciones han alcanzado su pleno desarrollo, el organismo está supeditado, para seguir vivo, a la posibilidad de un intercambio gaseoso (la respiración), así como a la estabilidad de los sistemas coloidales que componen su cuerpo.

Por ello los organismos únicamente pueden habitar donde tal intercambio —líquido, gaseoso o coloidal— resulta viable. No se localizan en un medio sólido; en efecto, únicamente son detectables en cuerpos porosos, donde es posible el intercambio gaseoso. Ahora bien, como consecuencia de sus exiguas dimensiones, un gran número de organismos hallan un hábitat en cuerpos bastante compactos.

En cambio, un medio líquido, una solución o un coloide *exento de gas* no sirven como ámbito para la vida.

Volvemos a incidir en la importancia excepcional del estado gaseoso de la materia, que hemos subrayado tantas veces en el presente volumen.

Los límites de la vida en la Biosfera

111. De lo expuesto se deduce que la biosfera, por su estructura, su composición y sus condiciones físicas, se inscribe entera en el campo vital. La vida se ha ajustado a sus parámetros y no hay lugar donde no le quepa manifestarse de un modo u otro.

Este hecho se verifica con plena certeza en las condiciones habituales y normales de la biosfera, pero surgen excepciones en el caso de perturbaciones

pasajeras, nocivas para la vida, que no consideraremos pues como características. Así, los cráteres de los volcanes en fase de erupción y las superficies incandescentes de lava son inaccesibles para la vida en las condiciones de la biosfera.

Las emanaciones tóxicas (los gases clorhídricos y fluorhídricos, por ejemplo) y las fuentes termales calientes que acompañan a los procesos volcánicos se reducen a fenómenos episódicos, al igual que la falta de vida concomitante. Fenómenos análogos, de índole más duradera, como las fuentes termales permanentes cuya temperatura se aproxima a los 90 grados centígrados, no son óbice para la vida de determinados organismos que se han adaptado a sus condiciones.

Ignoramos si las soluciones salinas naturales, con una concentración de sal superior al 5%, son siempre azoicas. El Mar Muerto, en Palestina, representa la mayor cuenca de agua salada de tal clase. No obstante, se ha comprobado que algunas de las aguas ácidas naturales hidrosulfurosas o clorhídricas, cuya ionización supera $10^{-11} \% H^+$, son necesariamente azoicas (cf. 109). De hecho equivalen a un área apenas significativa.

112. Podemos considerar que la geosfera terrestre donde se asienta la materia viva responde, por entero, al campo de la existencia vital. Tal capa es continua, lo mismo que la atmósfera, y se distingue por ello de capas discontinuas, como la hidrosfera.

No obstante, el campo terrestre accesible a la vida no está totalmente ocupado por la materia viva. Se observa una lenta expansión en nuevas regiones, como si se tratara de una colonización territorial en el curso de los tiempos geológicos.

Conviene distinguir en el campo terrestre vital: 1.º la región de penetración temporal de la vida, donde los organismos no están sometidos a un aniquilamiento súbito; 2.º la región de su existencia estable, necesariamente ligada a las manifestaciones de la multiplicación.

Los confines vitales extremos en la biosfera probablemente entrañen unas condiciones absolutas para todos los organismos. Basta con que una sola de tales condiciones (variables independientes del equilibrio) alcance un valor infranqueable para la materia viva, ya fuere la temperatura, la composición química, la ionización del medio o, finalmente, la longitud de onda de las radiaciones.

Las definiciones de esta clase no se formulan en términos absolutos. La llamada adaptación del organismo, su aptitud para defenderse de las condiciones nocivas del medio, es enorme; los límites de la misma no sólo son un misterio, sino que se van ampliando en el curso de los ciclos planetarios, que equivalen a los tiempos en que existen generaciones ininterrumpidas de seres organizados nacidos los unos de los otros.

Al establecer estos límites a partir de la adaptación de la vida que hoy observamos, nos aventuramos forzosamente en el terreno de las extrapolaciones,

siempre azaroso y poco firme. El hombre particularmente, dotado de raciocinio y capacitado para dirigir su voluntad, está facultado para llegar, de manera directa o indirecta, a regiones inasequibles para el resto de los organismos vivos.

Dada la unidad indisoluble de todos los seres vivos —una certeza que se impone por su propio peso—, cuando se enfoca la vida como un fenómeno planetario, tal facultad del *Homo sapiens* no puede entenderse como un fenómeno accidental. De ello se deduce que la cuestión de la inmutabilidad de los límites vitales en la biosfera requiere ser abordada con prudencia.

113. Un carácter semejante de los confines vitales, basado en la presencia o en la existencia estable de organismos bajo sus formas y su amplitud actual de adaptación, prueba a todas luces que la biosfera es una *capa* terrestre, ya que las condiciones que imposibilitan la vida se manifiestan simultáneamente en todo el planeta. Por tanto procede determinar únicamente los límites superior e inferior del campo vital. *El límite superior* viene impuesto por la *energía de radiación* cuya presencia excluye la vida. *El límite inferior* lo determinan unas *temperaturas tan elevadas* que la vida está forzosamente proscrita. Dentro de los límites así establecidos, la vida abarca, pero no íntegramente, una capa termodinámica, tres capas químicas y tres capas del estado de la materia (cf. 88). La importancia de estas últimas: troposfera, hidrosfera y litosfera superficial, se refleja con la máxima contundencia en estos fenómenos y las tomaremos como base para el desarrollo de nuestro texto.

114. Según todos los indicios, la vida no puede traspasar las fronteras de las regiones superiores de la estratosfera en ninguna de sus manifestaciones naturales. Tal como lo demuestra el Cuadro I (cf. 88), por encima de la estratosfera se alza otra capa paragenética donde es muy incierta la existencia de moléculas químicas o de sus compuestos más complejos. Aludimos a la región de máxima rarefacción de la materia; sigue conservando tal carácter aun cuando admitamos la exactitud de los recientes cálculos del profesor B. Fessenkov (1923-1924), que le atribuyen mayores cantidades de materia que las anteriormente previstas. B. Fessenkov sostiene que la estratosfera, a una altitud de 150 a 200 kilómetros, presenta una tonelada de materia por kilómetro cúbico¹¹. El nuevo modo de aparecerse los elementos químicos de esta materia enrarecida no es el fruto exclusivo de la rarefacción, de la disminución de las colisiones de las partículas gaseosas, de un campo más amplio para sus trayectorias libres, sino que se relaciona con la acción potente de los rayos solares, ultravioletas y otros, que

¹¹ Según otros cálculos, las cifras son más de mil veces menores: una tonelada por 100 kilómetros cúbicos, un kilogramo por 200 kilómetros cúbicos.

quizá procedan también de los espacios cósmicos, accediendo sin obstáculos a los límites extremos de nuestro planeta (cf. 8). Sabemos que los rayos ultravioletas son unos agentes químicos enormemente activos. En particular, los rayos con una longitud de onda muy corta, por debajo de 200 milonésimas de milímetro (160-180 picómetros), aniquilan cualquier expresión de vida, las esporas más estables en un medio deshidratado o vacío. Parece, no obstante, que dichos rayos alumbran estas regiones remotas del planeta.

115. No consiguen llegar hasta nosotros gracias a su total absorción por el ozono, permanentemente creado, en cantidades relativamente considerables, a partir del oxígeno libre y quizá del agua, mediante la acción de esos mismos rayos ultravioletas, aniquiladores de la vida y filtrados por el ozono.

Si reuniéramos la totalidad del ozono en estado puro, compondría una capa de 5 milímetros de espesor conforme a las teorías de C. Fabry y Buisson. Pero estas pequeñas masas de ozono, incluso bajo la forma de moléculas dispersas en los gases atmosféricos, son lo suficientemente importantes como para detener el paso de las radiaciones vitalmente nocivas.

Si el ozono se destruye, se reconstituye también continuamente, ya que las radiaciones de una longitud inferior a 200 picómetros encuentran siempre en la estratosfera, por lo menos en sus zonas bajas, una cantidad sobreabundante de átomos de oxígeno.

De tal suerte la vida está protegida en su existencia por *la pantalla de ozono, de un espesor de 5 milímetros*, que actúa como límite natural superior de la biosfera.

Es característico que el oxígeno libre, necesario para la creación de ozono, se forme en la biosfera exclusivamente a través de procesos bioquímicos; desaparece forzosamente de su seno si la vida se extingue. *La vida, que crea el oxígeno libre en la corteza terrestre, crea así el ozono y protege a la biosfera de las radiaciones nocivas de las ondas cortas de los astros celestes.*

La manifestación postrera de la vida, el hombre civilizado, puede evidentemente protegerse de otro modo y traspasar impunemente la pantalla de ozono.

116. La pantalla de ozono determina el techo de la vida virtual. La vida real finaliza mucho antes en la atmósfera. Las plantas autótrofas verdes no se desarrollan por encima de los bosques, los campos, las praderas, las hierbas de tierra firme. No existen células verdes en el medio aéreo. Sólo de modo accidental, y a escasa altura, las salpicaduras del mar proyectan células verdes del plancton.

Únicamente por la vía mecánica, o por medio de unos dispositivos específicos para volar, pueden los organismos elevarse sobre la vegetación

verde. Los organismos verdes no están facultados para penetrar en la atmósfera, por tal procedimiento, ni a gran distancia ni durante largo tiempo. Por ejemplo, las esporas más diminutas —de coníferas y criptógamas, pobres en clorofila o sin ella—, son probablemente las masas más considerables de organismos verdes diseminadas y levantadas por el viento a veces hasta una gran altura, pero por cortos lapsos temporales.

La masa principal de materia verde que penetra en la atmósfera pertenece al segundo orden. En la misma están incluidos todos los seres voladores. El manto vegetal, límite superior de la transformación de las radiaciones solares en energía química terrestre, se sitúa a ras de tierra firme y a flor de las aguas del Océano. Esta capa apenas roza la atmósfera. Su campo de existencia, no obstante, se ensancha en el transcurso de los tiempos geológicos.

Merced a que las plantas verdes están orientadas a captar el máximo de energía solar, han colonizado las capas inferiores de la troposfera, hasta una altura de más de 100 metros sobre el nivel del suelo, bajo la forma de grandes árboles (50 metros y más). Tales especies surgieron, al parecer, en la época paleozoica.

117. La vida se infiltra en la atmósfera, y se instala durante largo tiempo en su seno, principalmente bajo la forma de minúsculas bacterias y esporas que anidan en los animales voladores. Sus concentraciones relativamente considerables, sobre todo en estado latente (esporas, organismos microscópicos), se detectan en las regiones de la capa aérea donde circula el polvo de la superficie terrestre. Esta atmósfera polvorienta se relaciona fundamentalmente con tierra firme. Según A. Klossowsky (1910), el polvo llega a una altura promedia de 5 kilómetros; según M. Mengel (1922), las nubes de polvo no superan los 2,800 kilómetros. Están esencialmente constituidas, sin embargo, de materia inerte.

Sobre la cima de las montañas, el aire es muy pobre en organismos, pero los hay en cualquier caso. Según L. Pasteur, en medios con nutrientes sólo existen 4-5 microbios patógenos por centímetro cúbico. W. Fleming no detectó más que uno, por cada tres litros, a una altitud de 4 kilómetros. Al parecer, en la microflora de las capas superiores del aire escasean las bacterias, siendo más abundantes las levaduras y las mucoríneas (B. Omeliansky).

Sin duda esta microflora traspasa los límites medios de la atmósfera polvorienta (5 kilómetros), pero lamentablemente carecemos de las suficientes observaciones precisas. Esta flora puede ser transportada hasta los confines de la troposfera (9 a 13 kilómetros), puesto que los movimientos de los gases, vientos y corrientes de aire, observados en la superficie terrestre, ascienden hasta dicha frontera.

No creemos que estas ascensiones hayan desempeñado algún papel en la historia terrestre, dados el estado latente de la masa principal de tales or-

ganismos y su proporción inapreciable en la masa, aun enrarecida, del gas bruto donde están dispersas.

118. No está zanjada la controversia sobre la existencia de vida animal más allá de los confines de la troposfera. Sin duda se detecta a veces por encima de las cumbres más altas, pero las montañas jamás rebasan el ámbito de la troposfera.

Así, según refiere A. Humboldt, el cóndor vuela hasta 7 kilómetros sobre el nivel del suelo; también ha observado que en la cima del Chimborazo (5.882 metros) hay moscas.

Tales observaciones de A. Humboldt y de algunos antiguos naturalistas han sido refutadas por ornitólogos posteriores que han estudiado las migraciones de las aves en las estaciones de paso. Pero las más recientes comprobaciones de M. Wollstone (1923) y del resto del equipo expedicionario inglés al Everest confirman que ciertas aves de presa vuelan o planean en torno a las cimas señeras, a más de 7 kilómetros (7.450 metros). Las cornejas del Himalaya alcanzan los 8,2 kilómetros.

No obstante, se trata de especies contadísimas. La mayoría de las aves, incluso especies de montaña, no vuelan por encima de los 5 kilómetros. Los aviadores no han descubierto aves a más de 3 kilómetros de altura (águila).

Se han encontrado mariposas a 6,4 kilómetros de altura; arañas, hasta los 6,7 kilómetros; pulgones, hasta los 8,2 kilómetros. Algunas plantas (*Arenaria muscosa* y *Delphinium glaciale*) viven a 6,2 kilómetros de altura (M. Hingston, 1925).

119. El hombre es quien más asciende en la estratosfera llevando consigo, sin ser consciente de ello y por necesidad, formas de vida de las que es corporalmente portador o bajo la modalidad de productos.

La región accesible al hombre se va ampliando con el progreso de la navegación aérea y ya trasciende los límites de la región vital para la que sirve de frontera la pantalla de ozono.

Los globos-sonda logran la máxima cota. Sus materiales encierran siempre compuestos orgánicos. Un globo-sonda de tales características, lanzado el 17 de diciembre de 1913 en Pavía, voló a una altitud de 37,7 kilómetros.

El propio hombre rebasa en sus máquinas las cumbres más elevadas. G. Tissandier (1875) y J. Glaisher (1868) habían rozado tales medidas con globos aerotásticos: el primero se elevó hasta los 8,6 kilómetros y el segundo, hasta los 8,3 kilómetros.

Las ascensiones, con el desarrollo de los aeroplanos, han bordeado los límites de la troposfera.

El francés M. Caillot y el americano M. MacRady (1925) subieron a 12 kilómetros y 12,1 kilómetros, respectivamente; esta marca será muy prontamente superada.

En cuanto a las concentraciones humanas, las poblaciones se sitúan a 5,1 y 5,2 kilómetros de altura (Perú, Tibet); los ferrocarriles, a 4,7 kilómetros (Perú); los campos de centeno, hasta 4,65 kilómetros.

120. En resumen, cabe afirmar que la vida que se manifiesta en la biosfera no toca su techo, la pantalla de ozono, sino a título extraordinario y excepcional. En sus masas principales, no sólo la estratosfera, también las capas superiores de la troposfera son inanimadas.

No existe organismo alguno que viva perennemente en el medio aéreo. Una delgada epidermis atmosférica, por lo general muy por debajo de los 100 metros, es la que cabe considerar como animada de vida.

Ciertamente la conquista del aire es un fenómeno reciente en la historia geológica del planeta: ha podido lograrse gracias a la adaptación de los organismos terrestres subaéreos, las plantas en primera instancia (¿precámbrico?), los insectos, los vertebrados voladores (¿paleozoico?), las aves desde la era mesozoica. Contamos ya con datos sobre el transporte mecánico de la microflora y de las esporas desde los períodos geológicos pretéritos. Pero es a partir de que aparece la humanidad civilizada cuando la materia viva da un paso de gigante hacia la conquista de toda la atmósfera.

La atmósfera no es una región vital independiente. Sus delgadas capas, desde un punto de vista biológico, sólo constituyen una parte de las capas adyacentes de la hidrosfera y la litosfera. Es en la litosfera donde las capas atmosféricas empiezan a participar en las aglomeraciones y películas vitales (cf. 150).

La enorme influencia que ejerce la materia viva en la historia atmosférica depende no ya de su presencia inmediata en el medio gaseoso, sino de la creación biógena de nuevos gases y de su migración en la atmósfera; también está en relación con la liberación y absorción de los mismos en dicho medio gaseoso.

El impacto de la materia orgánica en la historia atmosférica se refleja ora en la modificación de la delgada capa gaseosa colindante con la superficie terrestre, ora en la modificación de los gases disueltos en las aguas naturales.

El grandioso efecto final, el abrazo de toda la envoltura gaseosa del planeta por la energía vital, dada la penetración por doquier de los productos gaseosos de la vida (el oxígeno libre, en primer término), supone la consecuencia de las propiedades del estado gaseoso de la materia, no ya de las propiedades de las materias vivas.

121. En teoría, el límite inferior de la vida sobre la Tierra debería ser tan evidente y tan nítido como su límite superior, materializado en la pantalla de ozono.

No obstante, es menester determinarlo por medio de la temperatura, indagando en qué punto máximo de su escala se tornan inviables la existencia del organismo y su desarrollo, dadas las propiedades de los compuestos que lo conforman.

La temperatura de 100° C marca evidentemente tal barrera. Es la temperatura que reina a una profundidad de 3-3,5 kilómetros bajo el nivel del suelo; en ciertos lugares, a una distancia menor, en torno a los 2,5 kilómetros. Cabe considerar que los seres vivos, de promedio, no pueden existir en sus formas actuales a una profundidad superior a 3 kilómetros bajo el nivel terrestre.

El nivel de esta región profunda, donde la temperatura ronda los 100° C, desciende más en el caso del Océano, cuyo espesor medio es de 3,8 kilómetros y donde la temperatura abisal es fría, pues a veces alcanza pocos grados sobre cero. La temperatura límite para la vida se situará, en las aguas, en torno a una profundidad media de 6 kilómetros; entre 5 y 7 kilómetros, en el supuesto de que el grado térmico sea análogo al de tierra firme. De hecho, el aumento de la temperatura parece producirse más rápidamente y es improbable que la capa accesible para la materia viva rebasa los 6 kilómetros de profundidad por debajo del nivel marino.

La barrera de 100° C sin duda es convencional, pues tenemos noticia de que, en tierra firme, algunos organismos se multiplican con temperaturas superiores a 70°-80° C, aunque no sabemos de ninguno que se haya adaptado a una existencia permanente con 100° C.

Por todo lo cual es improbable que el límite inferior de la biosfera traspase la media de 2,5-2,7 kilómetros de profundidad en tierra firme y de 5-5,5 kilómetros en los mares.

Dicho límite viene probablemente impuesto por la temperatura, no por la composición química del medio a tales profundidades (sin oxígeno), pues la falta de este gas no puede constituir un obstáculo para la vida. Ya no queda oxígeno libre a escasa profundidad subcontinental; raramente es detectable a unos centenares de metros bajo el suelo. Es seguro, sin embargo, que la vida anaerobia se infiltra hasta profundidades mucho mayores. Las investigaciones independientes de J. Bastin en los Estados Unidos y de N. Uchinsky en Rusia (1926-1927) han corroborado la antigua observación de F. Stapff (1891): la existencia de una flora anaerobia por más de un kilómetro bajo el suelo terrestre.

122. La elevada temperatura supone un obstáculo infranqueable, aunque teórico, en la biosfera. Otros factores, en su conjunto, ejercen una influencia más decisiva en la propagación de la vida, impidiéndole ocupar regiones que, desde un punto de vista térmico, le resultarían accesibles.

Incluso podemos constatar, como ya lo hicimos en el caso de los animales macroscópicos, la existencia de un curioso proceso geológico. Estos

organismos, en el curso de los tiempos geológicos, colonizan paulatinamente las profundidades. Regiones del planeta carentes de luz van siendo así pobladas por organismos específicos, jóvenes desde la óptica geológica, y tal proceso no ha llegado a término todavía.

Aquí se produce un fenómeno análogo al que reseñamos para el límite superior de la biosfera. En el transcurso de los tiempos geológicos, la vida desciende lenta, pero irremisiblemente, aproximándose a su límite inferior. No obstante, se halla más lejos de este último que de su límite superior.

Los organismos verdes que demandan luz para desarrollarse no tienen la opción, obviamente, de abandonar la franja de corteza terrestre alumbrada por el Sol.

Los organismos heterótrofos y las bacterias autótrofas son los que pueden aventurarse en las profundidades. La vida no penetra del mismo modo en las entrañas de tierra firme que en los abismos oceánicos.

La vida animal, muy dispersa, penetra a mayor profundidad en los Océanos; este proceso depende del relieve del fondo. No obstante, se ha podido constatar su presencia hasta algo más de 6 kilómetros: se ha descubierto un erizo —*Hyphalaster perfecto*— a una profundidad de 6.035 metros.

Las formas acuáticas abisales están facultadas para adentrarse en las fosas oceánicas, pero hasta ahora no se han encontrado organismos vivos a más de 6,5 kilómetros¹².

Todo el volumen de agua está poblado de bacterias en dispersión, halladas a más de 5,5 kilómetros de profundidad y que se concentran en el lodo marino. Su presencia en el lecho de las grandes fosas oceánicas aún no se ha confirmado.

123. La vida en tierra firme se reduce a unos niveles relativamente superficiales, en primera instancia porque el oxígeno libre nunca se infiltra tan profundamente en la corteza. En el Océano, el oxígeno libre en solución gaseosa (donde su cuantía, en relación con el nitrógeno, siempre es proporcionalmente más importante que en la atmósfera) se mantiene en contacto con el aire externo. El oxígeno atmosférico llega a las grandes fosas oceánicas, hasta una profundidad de 10 kilómetros, y toda pérdida resulta compensada por un nuevo aporte de oxígeno atmosférico, con cierto desfase, gracias a procedimientos de disolución y difusión. El límite de su penetración, la superficie del oxígeno libre, lo representa la capa superior, muy fina, del lecho oceánico (cf. 141).

El oxígeno libre desaparece rápidamente en cuanto se profundiza en tierra firme; lo absorben organismos o compuestos ávidos del mismo,

¹² Las profundidades oceánicas miden casi 10 kilómetros. Recientemente se ha descubierto una fosa de 9,95 kilómetros cerca de las Islas Kuriles. Previamente, la mayor profundidad conocida era de 9,79 kilómetros en las proximidades de las Islas Filipinas.

principalmente orgánicos. La investigación sobre las aguas de los manantiales subterráneos, que brotan desde un punto situado a uno o dos kilómetros de profundidad, refleja que no cuentan generalmente con oxígeno libre entre sus gases. Se observa un corte brusco entre el agua vadosa, que contiene oxígeno libre del aire, y el agua freática sin éste, un cambio que hasta la fecha no se ha esclarecido de modo fiable¹³. El oxígeno libre atraviesa la superficie del suelo y parte del subsuelo. La frontera del oxígeno libre permanece más cerca de la superficie en los suelos pantanosos y en las marismas. Según M. Hasselmann, en nuestras latitudes los primeros carecen de oxígeno libre si atravesamos una capa de 30 centímetros. Se constata su presencia en distintos subsuelos a una profundidad de varios metros, a veces diez o más, en el supuesto de que no halle ningún obstáculo para propagarse —como rocas compactas, sólidas, siempre exentas de oxígeno libre, pero cuyas huellas pueden revelarse en su cara superior, en contacto permanente con el agua del entorno—. Las cavidades y grietas libres, accesibles a la filtración de aire, alcanzan excepcionalmente profundidades de algunos centenares de metros. Nos referimos a los pozos de prospección y a las minas, obra de la humanidad civilizada, que marcan la profundidad máxima al superar los 2 kilómetros, aunque su relevancia es insignificante a escala de la biosfera.

Por otra parte, si las transferimos a nivel oceánico, tales medidas pierden valor. Las zonas bajas y profundas de los continentes suelen ser menos hondas. La máxima depresión continental implica poco más de un kilómetro; el lecho del lago Baikal, auténtico mar de agua dulce en Siberia, rico en vida, se sitúa a 1.050 metros bajo el nivel oceánico.

Sin duda la vida en tierra firme —contemplando incluso la vida anaerobia— jamás rebasa las profundidades del planeta que le resultan accesibles en la hidrosfera. Parece que la vida en las capas subcontinentales nunca alcanza la profundidad media (3,8 kilómetros) de la hidrosfera. No obstante, las perforaciones recientes para estudiar la génesis de los petróleos y del hidrógeno sulfhídrico rebajan considerablemente el límite inferior para la vida anaerobia. La génesis de estos minerales freáticos parece deberse a la vida y acontecer a unas temperaturas mucho más elevadas que las de la superficie terrestre. Ahora bien, incluso si los organismos bacterianos que intervienen en dichos procesos fueran especialmente termófilos (factor que no se ha comprobado), vivirían a temperaturas en torno a 70° C. Es decir, a bastante distancia todavía de la isogeoterma de 100° C.

124. Comprobamos así que la supremacía de la vida en la hidrosfera depende no sólo de su mayor volumen, sino de que en toda la extensión

¹³ En la mayoría de los casos, las indicaciones alusivas al oxígeno libre provienen de errores de observación.

marina se confirma la existencia de vida, a razón de una potente capa de 10 kilómetros de profundidad álgida y 3,8 kilómetros de profundidad media; en suelo firme (21% de la superficie terrestre), en cambio, la región de las manifestaciones vitales ni siquiera alcanza un espesor de 2,5 kilómetros, configurando una cubierta de algunos centenares de metros de promedio. En esta delgada epidermis de tierra firme, poblada por organismos vivos, la vida no se adentra más allá del nivel marino salvo en raras ocasiones.

A escala planetaria, la vida concluye en tierra firme a nivel del Océano; en la hidrosfera, por el contrario, se infiltra hasta una zona de un grosor medio de 3,8 kilómetros.

La vida en la Hidrosfera

125. Pese a una apariencia caótica, los fenómenos de la vida en la hidrosfera poseen, de hecho, características inmutables en el transcurso de toda la historia geológica y desde la era arqueozoica. Es menester enfocarla como unos rasgos permanentes y estables del mecanismo de la corteza global, no ya exclusivamente de la biosfera. En el flujo de todas las eras geológicas, tales fenómenos persisten *en determinadas regiones de la hidrosfera*, por mucho que varíen constantemente la vida y el Océano.

Este mecanismo de la biosfera subsiste, inalterado, en los ciclos geológicos.

La densidad de la vida, la manifestación de regiones vitalmente prolíficas, deben servirnos de base a la hora de estudiar el mecanismo en cuestión. En la estructura del Océano, a dichas regiones las denominaremos *películas y concentraciones vitales*. Cabe considerarlas como subdivisiones secundarias del área de la corteza terrestre representada por la hidrosfera, puesto que son realmente regiones concéntricas en situación de continuidad, o pueden convertirse en tales en ciertos períodos de su historia geológica. Por tanto, las películas y concentraciones vitales suponen, en el Océano, *las regiones de transformación máxima de la energía solar*. Conviene empezar por tomar en consideración este hecho cuando se estudian todos los fenómenos vitales oceánicos, si pretendemos abarcarlos desde la perspectiva de su expresión en la historia planetaria. Sólo bajo esta condición seremos capaces de discernir el impacto geoquímico de la vida en la hidrosfera.

Además de la densidad vital, es preciso determinar las propiedades de las películas y las concentraciones vitales:

1.º Desde el punto de vista del carácter de su materia verde viva, así como de su localización. De esta suerte dilucidamos en qué regiones de la hidrosfera se efectúa la formación de la masa principal de oxígeno libre del planeta.

2.º Desde el punto de vista de la distribución, en el espacio y en el tiempo, de la creación de nuevas generaciones; es decir, desde la óptica del fenómeno de la multiplicación en las películas y concentraciones vitales. Tal proceso puede depararnos una idea cuantitativa de las leyes del cambio regular al que está supeditada la energía química, así como de la intensidad de la misma.

3.º Desde el punto de vista de los procesos químicos que se desarrollan en las películas y concentraciones vitales en relación con la historia de determinados elementos químicos de la corteza terrestre. Por esta vía se manifiesta el impacto de la materia viva del Océano en la geoquímica planetaria. Veremos cómo las funciones de las diversas películas y concentraciones vitales son inmutables, específicas y distintas en el curso de los períodos geológicos.

126. Como ya sabemos (cf. 55), la superficie del Océano está cubierta de una lámina continua de vida verde. Representa el campo donde se elabora el oxígeno libre, del que está penetrado el volumen total de las aguas, hasta el mismo fondo, gracias a los procesos de difusión y convección.

Los organismos autótrofos verdes del Océano, tomados en conjunto, se acumulan particularmente en la franja superior, sin descender de 100 metros. Más allá de los 400 metros suelen situarse únicamente los animales heterótrofos y las bacterias.

Por un lado, la superficie oceánica entera es el territorio del fitoplancton clorofílico; por otro lado, las grandes plantas —algas y hierbas marinas— ocupan el primer rango por posiciones. Constituyen dos tipos de formaciones muy distintas, aunque no suelen establecerse diferencias. Las algas y las hierbas verdes se desarrollan prolíficamente en las regiones costeras, poco profundas (*concentraciones litorales*); no obstante, de modo puntual, las hierbas configuran masas flotantes en alta mar: a título de ejemplo llamativo recordaremos el mar de los Sargazos, cuya superficie supera 100.000 kilómetros cuadrados (*concentraciones sargácicas*).

Los organismos unicelulares microscópicos, que se aglomeran fundamentalmente en la superficie del Océano, en el plancton, representan la masa esencial de vida verde.

Ello obedece a la mayor intensidad de su multiplicación. La multiplicación planctónica corresponde a la magnitud v , igual a 250-275 centímetros por segundo. Esta magnitud puede convertirse en miles de centímetros por segundo, mientras que en el caso de las algas litorales normalmente fluctúa entre 1,5 y 2,5 centímetros por segundo (como mucho, algunas decenas de centímetros). Si la conquista de la superficie oceánica (correspondiente a la energía radiante captada por ella) dependiera sólo de la velocidad v , el plancton debería ocupar un área en el mar 100 veces mayor que al de las grandes algas. La distribución de estos distintos

dispositivos para crear oxígeno libre se relaciona, efectivamente, con el orden de tal magnitud. Las algas litorales se hallan en regiones poco profundas del Océano¹⁴. La extensión de los mares¹⁵, según J. Schokalsky, no excede el 8% de la superficie oceánica, pero una mínima parte de los mares está revestida por un manto de grandes algas y hierbas. Ocho centésimas significan el límite máximo de ocupación superficial por las plantas litorales —un límite inaccesible, en la práctica, para éstas—. Las concentraciones flotantes de sargazos desempeñan un papel todavía más irrelevante. Su mayor concentración, el mar de los Sargazos, equivale a un 0,02% de la superficie oceánica.

127. La vida verde, que con frecuencia pasa desapercibida a simple vista en el Océano, no abarca, ni remotamente, toda la manifestación vital de la hidrosfera. El potente desarrollo de la vida heterótrofa, tan característica en este ámbito, no suele observarse en tierra firme. La impresión general producida por la vida en el Océano —probablemente acertada— es que los animales, no las plantas, ocupan la posición hegemónica y troquelan, con su impronta, la totalidad de las manifestaciones de la Naturaleza viva que se concentra en su seno.

Ahora bien, esta vida animal no podría expandirse sin coexistir con la vida vegetal verde. Su distribución depende de ella, es el efecto de su presencia.

Precisamente, en la íntima conexión entre las condiciones de nutrición y de respiración de los reinos animal y vegetal, radica la formación de acumulaciones de organismos, películas y condensaciones vitales en el Océano.

128. En el volumen global del Océano, la materia orgánica supone una modesta cuantía. En términos generales procede afirmar que el agua del mar es inanimada. Incluso las bacterias, tanto autótrofas (cf. 94) como heterótrofas, apenas representan unas centésimas de su peso; desde esta perspectiva, se equiparan con los escasos iones químicos de las soluciones marinas. Únicamente se detectan importantes cantidades de organismos vivos en las películas y concentraciones vitales. Ambas no suelen abarcar más de una centésima, en ocasiones algunas centésimas de materias vivas. Sólo puntual y transitoriamente los organismos vivos suman varias centésimas de la masa de agua marina.

Todas las concentraciones y películas vitales son regiones con una intensa actividad química. En su seno la vida se halla en perpetuo movimiento. Con todo, estas formaciones permanecen inmóviles, o cuasi inmóviles; a pesar de que en la estructura de la hidrosfera hay cambios

¹⁴ Cuando la plataforma litoral es profunda, la capa de algas ocupa un área insignificante.

¹⁵ Es decir, en las profundidades inferiores a 1.000-1.200 metros, incluidos los bajíos.

innumerables y continuos, configuran equilibrios estables. Se muestran tan constantes, tan definidoras del Océano como las corrientes marinas.

Al basarnos en rasgos primordiales, en las líneas maestras de la distribución de la vida en el Océano, deslindamos *cuatro condensaciones vitales estáticas: dos películas*, el plancton y el limo del fondo; *dos concentraciones*, las litorales (marinas) y las de sargazos.

129. La modalidad esencial y más representativa de tales aglomeraciones vitales es la *finca película superior, abundante en vida verde: el plancton*. Cabe estimar que recubre toda la superficie oceánica.

El mundo vegetal verde descuelga a veces en el plancton, pero el papel de los organismos animales heterótrofos, cuya existencia depende del fitoplancton, quizá sea igualmente decisivo por su manifestación global en la química planctónica. El fitoplancton siempre es unicelular, pero los metazoos cumplen una función importante en el zooplancton. Pueden proliferar, en su seno, en cantidades jamás detectadas en tierra firme. Así, se observan esporádicamente en el plancton oceánico huevos y lechaza de peces, crustáceos, larvas, estrellas de mar, etc., en una proporción ingente, que supera la de los restantes seres vivos. Según M. Hjort, el número de individuos por centímetro cúbico varía de promedio, para el fitoplancton microscópico verde, entre 3 y 15; este número se eleva, para todo el microplancton, hasta un cupo de 100 individuos microscópicos (M. Allen, 1919). El número de células del fitoplancton no suele igualar al de los individuos animales heterótrofos. No incluimos las bacterias, ni el nonioplancton. De esta suerte, fuerza es que admitamos que la película del plancton comporta centenares, miles de individuos microscópicos, centros independientes de transmisión de energía geoquímica por centímetro cúbico (cf. 48). Formulada en peso, la materia viva así diseminada significará, como mínimo y de promedio, un 10^{-3} - 10^{-4} % de la masa total de agua oceánica; probablemente supere dichas cantidades.

El espesor de esta capa, generalmente localizada a una profundidad entre 20 y 50 metros, no excede algunas decenas de metros. A veces el plancton asciende hasta la superficie marina o desciende por debajo de la línea indicada. El número de individuos disminuye rápidamente a partir de esa fina película, por encima y sobre todo por debajo. A más de 400 metros, los individuos del plancton suelen estar muy dispersos.

Los organismos vivos, en el volumen global del agua oceánica, cuya capa media tiene un grosor de 3,8 kilómetros y cuya profundidad máxima ronda los 10 kilómetros, componen pues una membrana delgadísima: representa de promedio la $n \times 10^{-2}$ parte del espesor total de la hidrosfera. Desde el punto de vista del quimismo oceánico, tal fracción se considerará activa, y el resto de la masa acuática bioquímicamente poco representativa.

Es evidente que la película planctónica, pese a su delgadez, constituye un componente importante del mecanismo de la biosfera, similar al de la capa de ozono con su proporción insignificante de este gas.

Su área equivale a centenares de millones de kilómetros cuadrados y su peso debe expresarse en un número del orden de 10^{15} - 10^{16} toneladas.

130. Otra concentración vital, *el limo del fondo*, se observa en el lecho marino y en la fina capa de agua colindante que lo empapa.

Esta membrana, por sus dimensiones y su volumen, se asemeja a la película planctónica, aunque la supera notablemente por su peso.

Se distribuye en dos zonas: la primera, la franja *superior o asiento del pelon*¹⁶, se sitúa en la región del *oxígeno libre*; en superficie bulle la vida animal, desempeñando los metazoos un papel destacado. Se entablan relaciones muy complejas entre los organismos de esta biocenosis bentónica, que apenas estamos empezando a investigar desde un enfoque cuantitativo.

Esta fauna consigue localmente un desarrollo enorme. Como ya hemos reseñado, en el caso de los metazoos bentónicos se originan concentraciones de materia orgánica de un orden análogo, por hectárea, al de las aglomeraciones de metafitos en tierra firme en situación de rendimiento óptimo (cf. 58).

Estos lodos animados de vida y el bentos en contacto con ellos componen, sin duda, grandes condensaciones de materia orgánica hasta una profundidad quizá superior a los 5 kilómetros.

Los individuos de animales bentónicos disminuyen numéricamente, de modo sensible, desde los 4-6 kilómetros; en las fosas más hondas, a partir de 7 kilómetros, los animales macroscópicos posiblemente desaparezcan.

Debajo del bentos se encuentra el *cieno del fondo*, que forma la parte inferior de la primera franja. Las protistas predominan allá en una enorme proporción, desempeñando las bacterias un papel protagonista en virtud de su desbordante energía geoquímica. Únicamente la delgada lámina superior, de un espesor de algunos centímetros —la región del pelon—, contiene oxígeno libre; por debajo yace una gruesa capa de lodo saturada de bacterias anaerobias, perforada quizá por un sinnúmero de seres excavadores.

Todas las reacciones químicas se producen en un medio claramente desoxidante. La función de esta capa, relativamente fina, en la química de la biosfera es enorme (cf. 141). El grosor de la película del fondo, incluyendo la capa de lodo, excede en ocasiones los 100 metros. No obstante, puede que sea más espesa, por ejemplo en las regiones abisales del Océano, donde viven organismos como los crinoides, cuya importancia en los procesos

¹⁶ Utilizamos este término, adoptado por los limnólogos rusos, que fue propuesto por M. Solovjev.

químicos del planeta parece ser notable. En la actualidad, lamentablemente, no estamos en condiciones de determinar el espesor de la concentración dotada de vida existente sino de manera provisional; estimamos al efecto una magnitud media de 10 a 60 metros.

131. El plancton y la película vital del fondo penetran toda la biosfera. Si la superficie del plancton viene a resultar, en suma, similar a la del Océano —cuantificada en $3,6 \times 10^8$ kilómetros cuadrados—, la superficie de la película del fondo debe superarla considerablemente, dado que se acomoda a la complejidad y a las irregularidades del relieve submarino.

A ambas películas que envuelven a la hidrosfera se agregan otras dos concentraciones vitales, íntimamente vinculadas en su existencia con la superficie planetaria rica en oxígeno libre: nos referimos a las concentraciones saturadas de vida verde, muy ligadas al plancton: *las concentraciones litorales y de sargazos*.

Las concentraciones litorales abarcan a veces todo el volumen del agua hasta el lecho oceánico, pues se adaptan a las regiones menos profundas de la hidrosfera.

Su área no excede, en caso alguno, la décima parte de la superficie oceánica. En cuanto al grosor, abarca de promedio unos centenares de metros, puntualmente 500 metros, llegando excepcionalmente al kilómetro. Tienen a acumularse en masas conjuntas con la película planctónica y el limo del fondo.

Las concentraciones vitales litorales van siempre unidas a las regiones más accesibles, a los mares y a las zonas del Océano próximas a las costas. Se relacionan con la infiltración en las aguas de los rayos solares luminosos, así como con los rayos térmicos, con la erosión continental y con el aporte de soluciones acuosas, ricas en detritos orgánicos y en polvo terrestre, en suspensión, por parte de los ríos. La cantidad general de esta vida será forzosamente inferior a la que está ligada a las películas planctónica y del fondo, puesto que las profundidades que no exceden del kilómetro no suponen más allá de la décima parte de la superficie oceánica. En parte, son bosques de algas y hierbas marinas; en parte, aglomeraciones de moluscos, construcciones de corales, de algas calcáreas y briozoos.

132. *Las concentraciones de sargazos* aparentemente ocupan una posición especial que, antiguamente, llamaba poco la atención y que ha merecido distintas explicaciones. Se diferencian de las películas planctónicas por el carácter de su fauna y de su flora; de las concentraciones litorales, por su autonomía respecto de la erosión continental y del aporte de productos orgánicos por los ríos. En contraste con las litorales, son acumulaciones oceánicas, observadas en la superficie de las regiones profundas del Océano, sin ninguna relación con el bentos ni con el limo del fondo.

Durante mucho tiempo se las ha considerado como formaciones secundarias, restos flotantes de concentraciones litorales arrastrados por los vientos y las corrientes marinas. Su presencia en zonas concretas del Océano era así la resultante de la distribución de los vientos y las corrientes, tratándose de zonas en bonanza.

Opiniones como las anteriores todavía son tópicos en la literatura científica, pero los hechos las invalidan, por lo menos en lo que concierne al «mar de los Sargazos» en el Océano Atlántico, la mayor y la mejor estudiada de cuantas concentraciones de esta clase existen.

Encontramos una fauna y una flora peculiares, con algunos representantes que proceden, indudablemente, del bentos de las regiones litorales.

Probablemente esté en lo cierto L. Germain cuando refiere su origen a la lenta adaptación de esta fauna y de esta flora a las nuevas condiciones, a la evolución de la materia litoral viva afectada por el lento hundimiento continental en el curso de los tiempos geológicos, o por la inmersión de grupos de islas, hoy desaparecidas, que se encontraban antaño en el lugar donde está el mar de los Sargazos.

El futuro demostrará si es viable o no aplicar esta explicación a las demás concentraciones de la misma clase. No obstante, la existencia de un tipo de concentraciones vitales con abundancia de grandes organismos vegetales, poblado de especies animales singulares, supone un hecho irrefutable, implicando unas formaciones que se diferencian claramente de las películas planctónica y del fondo oceánico. No se ha procedido a evaluarlas con exactitud, pero ocupan un área reducida en la hidrosfera, muy inferior a la que cubren las concentraciones litorales.

133. De los hechos expuestos se infiere que apenas el 2% de la masa total del Océano está ocupado por las concentraciones vitales. El 98% restante alberga vida en estado de dispersión.

El impacto de tales concentraciones y películas en el Océano es considerable, particularmente en lo que atañe a su composición química, a sus procesos químicos y a su régimen gaseoso, aunque los organismos que se sitúan al margen de películas y concentraciones, en las capas medias del Océano, no provocan cambios esenciales, por lo menos desde la óptica de la evaluación cuantitativa del fenómeno.

Así pues será lícito ignorar, en nuestra posterior estimación cuantitativa de la vida en la biosfera, la masa principal de las aguas oceánicas; tendremos exclusivamente presentes las cuatro grandes regiones de sus aglomeraciones: las correspondientes a las películas planctónica y del fondo, a las concentraciones litoral y de sargazos.

134. En todas las biocenosis destacadas, *la multiplicación* se efectúa a intervalos temporales, según un ritmo determinado. La cadencia de la

multiplicación se corresponde con el trabajo geoquímico de la materia viva. El ritmo con que se multiplican películas y concentraciones vitales determina, a su vez, la intensidad del desarrollo del trabajo geoquímico a escala planetaria.

Como ya sabemos, el rasgo más característico, para las dos películas vitales oceánicas, lo constituye la supremacía en su seno de protistas, organismos exigüos dotados de la máxima velocidad de multiplicación. Es improbable que la velocidad a la que se transmite la vida, la magnitud v , en condiciones favorables y normales de su existencia, sea inferior a 1.000 centímetros por segundo (cf. 40). Por tanto, serán los cuerpos dotados de la mayor intensidad de intercambio gaseoso, siempre proporcional a su superficie, los cuerpos que manifiesten por hectárea la energía geoquímica cinética máxima (cf. 41) —es decir, capaces de generar, en la unidad de tiempo, la mayor masa de materia viva por hectárea—, los que alcancen antes el límite de fecundidad.

Las protistas parecen poseer una gran rapidez para multiplicarse; no son idénticas en la película planctónica y en la del fondo. En esta última prevalecen las bacterias que penetran las masas ingentes de residuos de organismos más grandes, en descomposición, que allí se aglomeran. En la película planctónica, desde la perspectiva de la masa material implicada, las bacterias están en segunda línea, mientras que en primer término figuran las protistas verdes y los protozoos.

135. Los protozoos no representan el componente principal de la vida animal en el plancton; los metazoos descuellan entre los animales: crustáceos, larvas, peces jóvenes, etc.

El ritmo de multiplicación de los metazoos suele ser más lento que el de los protozoos. En el caso de los seres superiores, la velocidad a la que se transmite la vida se calcula en fracciones de centímetro por segundo. En cuanto a los peces y a los crustáceos del plancton, la magnitud v no parece ser inferior a algunas decenas de centímetros.

Una enorme cantidad de metazoos, a menudo bajo la forma de individuos voluminosos, constituye el rasgo característico de la película vital del fondo en el bentos oceánico. La multiplicación de los mismos se realiza, en determinadas épocas, a menor velocidad que la de los pequeños organismos del plancton. Pueden observarse organismos dotados de una baja intensidad de multiplicación.

Los metazoos y los metafitos son representativos de las concentraciones litorales y de sargazos, ocupando las protistas de diferentes especies una posición a fin de cuentas secundaria, no siendo las que determinan la intensidad de los procesos geoquímicos en el seno de tales biocenosis.

En dichas regiones, sobre todo en las concentraciones litorales, los metazoos empiezan a predominar en razón directa con la profundidad, termi-

nando por convertirse en los principales indicadores vitales. La importancia que pueden llegar a tener es evidente; por ejemplo, en las aglomeraciones de corales, los hidroideos, crinoides o briozoos.

136. La cadencia de la multiplicación, la regularidad de su ritmo distan de ser un hecho claro para el pensamiento científico. Únicamente nos consta que la multiplicación se efectúa con pausas y que existe, en el universo circundante, una sucesión secuenciada de tal proceso, cuyo orden se relaciona íntimamente con los fenómenos astronómicos. La multiplicación depende de la intensidad de la luz y el calor del Sol, de la cantidad de vida, del carácter del medio.

La intensidad de la multiplicación orgánica, singular para cada especie, se relaciona con la migración de los átomos, que son más necesarios a la vida del organismo cuanto más abundantemente intervengan en su composición. En la actualidad, la película planctónica nos brinda el cuadro menos oscuro de este fenómeno.

137. La alteración provocada por la multiplicación siempre se efectúa rítmicamente. La alteración corresponde a las oscilaciones del medio vital que se repite cada año. Está en función de los movimientos cíclicos del Océano. Los movimientos oceánicos —mareas, cambios térmicos, salinidad de la evaporación, intensidad de la luz solar— son todos de origen cósmico.

A tenor de tales fenómenos, una ola que crea materia orgánica, bajo la forma de nuevos individuos, se propaga por todo el Océano en la estación primaveral. La amplitud de la misma se reduce en verano. Se manifiesta por el rendimiento anual de casi todos los seres superiores e influye en la composición del plancton. «Con una inmutabilidad comparable a la del advenimiento del equinoccio de primavera y al alza de las temperaturas, con idéntica precisión, la masa animal y vegetal del plancton, que puebla un volumen determinado de aguas marinas, alcanza su clímax anual para disminuir luego nuevamente» (J. Johnstone, 1911).

El panorama trazado por Johnstone alude a nuestras latitudes, pero *mutatis mutandis* podría aplicarse a la totalidad del Océano. El plancton representa una biocenosis; todos los organismos que lo integran se vinculan estrechamente, en su existencia, los unos a los otros. Hay un predominio de crustáceos copépodos, que se alimentan de diatomeas, y de éstas mismas en el Océano Atlántico septentrional.

Cabe observar un ritmo regular que se repite anualmente en los mares bien estudiados del Noreste de Europa. Entre febrero y junio (para la mayoría de los peces, entre marzo y abril), el plancton rebosa de huevos de peces. En primavera, desde el mes de marzo pululan las diatomeas silíceas —Biddulphia, Coscinodiscus, más tardíamente algunas especies de Dinoflagellates—. El número de diatomeas y piridíneas retrocede rápidamente ha-

cia el verano y las reemplazan los copépodos y otros representantes del zooplancton. En otoño —septiembre, octubre—, resalta una nueva eclosión del fitoplancton, de menor intensidad. Diciembre y, sobre todo, enero y febrero se caracterizan por un letargo vital, por la reducción del proceso de la multiplicación.

Esta alternancia del ritmo reproductor es específica, constante y distinta para cada organismo; se repite cada año con la precisión inmutable que caracteriza a todos los fenómenos con un origen cósmico.

Ciclos geoquímicos de las concentraciones y películas vitales de la Hidrosfera

138. La cadencia geoquímica de la multiplicación se expresa por medio del ritmo de los procesos químicos terrestres. Cada película y cada concentración vital es la región donde se crean compuestos químicos determinados.

Hay que señalar, para el conjunto de la materia viva, que los elementos químicos, una vez que se han incorporado a los circuitos vitales, no emigrarán ya; permanecerán en su seno a perpetuidad. Siempre hay una pequeña porción que se separa bajo la forma de minerales vadosos; esta parte es la que precisamente aparece como creación de la química oceánica. La intensidad con que se multiplican los organismos repercute en la intensidad con que se forman los cuerpos vadosos.

La película planctónica es el campo principal del que se desprende el *oxígeno libre*, producto vital de los organismos verdes. En ella se concentran los compuestos del nitrógeno, que juegan un papel crucial en la química terrestre de dicho elemento. Esta película representa el centro donde se elaboran los compuestos *orgánicos* del agua oceánica. Varias veces al año, el *calcio* se acumula bajo la forma de carbonatos; el *silicio*, bajo la forma de ópalos. Terminan por depositarse en la película del fondo. Los resultados de dicho trabajo, acumulados geológicamente, pueden observarse en las gruesas capas de *rocas sedimentarias*, en la parte orgánica de las *rocas calcáreas* (algas microscópicas, foraminíferos) y en los *yacimientos silíceos* (diatomeas, esponjas, radiolarios).

139. Las concentraciones de sargazos y, en cierto modo, las litorales son análogas, por sus productos químicos, a la película planctónica. También participan activamente en la creación de *oxígeno libre*, de compuestos oxidados del *nitrógeno*, de compuestos oxidados y nitrogenados del *carbono*, de compuestos del *calcio*.

Al parecer, en tales regiones habría concentraciones de *magnesio*, un elemento que interviene en la composición de las partes sólidas de los or-

ganismos en cantidades menores que el calcio, pero, con todo, en proporciones reseñables e importantes; un porcentaje de magnesio pasaría directamente, por esta vía, a integrarse en la composición de los minerales vadosos.

Las concentraciones vitales no ocupan un lugar tan señalado en la historia del *silicio* como la película planctónica, aun cuando la migración cíclica en la materia viva de este elemento sea muy intensa.

140. La historia de todos los elementos químicos en las concentraciones y películas vitales se caracteriza por dos procesos divergentes: en primer término, por la migración de elementos (distinta y determinada para cada uno) a través de la materia viva; en segundo término, por su liberación bajo la forma de compuestos vadosos, escapando así de los circuitos vitales.

Una separación semejante es inapreciable en un ciclo vital corto, por ejemplo de un año, ya que la cantidad de elementos que, en tal intervalo de tiempo, abandonan el ciclo vital resulta insignificante. La emigración sólo será perceptible después de largos períodos, no ya históricos, sino geológicos. Así se crean en la corteza terrestre masas de materia inerte en estado sólido que multiplican varias veces el peso de la materia orgánica existente, en un momento dado, en el planeta.

Desde esta perspectiva, la película del plancton se distingue claramente de las concentraciones litorales¹⁷. El ciclo vital de las últimas libera cantidades infinitamente mayores de elementos químicos que el planctónico, por lo cual tienen una mayor impronta en la estructura de la corteza terrestre.

En las zonas inferiores de las concentraciones litorales, cerca de la película del lecho marino, así como en las franjas colindantes con tierra firme, es donde se observan preferentemente estos fenómenos. En la segunda localización, es típica la creación de compuestos orgánicos sólidos del *carbono* y del *nitrógeno*, al igual que la evaporación de *ácido sulfhídrico*, ligado a la liberación de *azufre* de la región de la corteza terrestre estudiada. Es por este procedimiento bioquímico como los sulfatos abandonan los lagos y lagunas salados que se forman en los bordes de las cuencas marinas.

141. No existe límite definido, en el caso de las concentraciones litorales, que separe las reacciones químicas del fondo y las superficiales; la frontera, en cambio, es muy clara en pleno Océano, donde ambas películas vitales, químicamente activas, están distanciadas entre sí por un volumen de agua, químicamente inerte, de un espesor de varios kilómetros.

¹⁷ No se conocen con precisión los fenómenos que acontecen en las concentraciones de sargazos.

Por lo general, en las concentraciones litorales se aproximan los límites entre las películas de la hidrosfera, mientras que ni siquiera existen en los mares poco profundos, ni cerca de las orillas. En el último caso, se confunde la acción de todas estas aglomeraciones vitales. Se configuran regiones de un trabajo bioquímico particularmente intenso.

La película del fondo continúa siendo el ámbito donde se manifiesta un trabajo químico extraordinario. Las concentraciones de organismos dotados de energía geoquímica máxima —las bacterias— destacan en primera línea. Las condiciones químicas del medio habitual soportan, al mismo tiempo, un cambio brusco, puesto que, debido a la abundancia de compuestos, mayormente de productos orgánicos que absorben con avidez el oxígeno libre suministrado por la superficie, se establece *un medio reductor* en la película del fondo, en el lodo marino. Son los dominios de las bacterias anaerobias. Únicamente una fina membrana de limo, de algunos milímetros —la *región del pelon*—, constituye el campo de procesos bioquímicos de oxidación intensos, en los que se forman *nitratos* y *sulfatos*. Esta lámina separa la población superior de las concentraciones vitales del fondo (análogas a las litorales por sus manifestaciones químicas) de la del medio reductor, del cieno inferior, un medio prácticamente desconocido en otros lugares de la biosfera.

En realidad, el equilibrio que se instaura entre el medio oxidante y el medio reductor se ve continuamente perturbado por el celo infatigable de los animales excavadores; las reacciones bioquímicas y químicas se suceden en ambos sentidos, fomentando la creación de cuerpos inestables ricos en energía química libre. No obstante, es imposible actualmente evaluar el alcance geoquímico de dicho fenómeno. Por otro lado, la particularidad característica de las películas del fondo es que se depositan, sin cesar, restos orgánicos en putrefacción que caen desde las películas planctónica, de sargazos y litorales. Estos detritos orgánicos están poblados de bacterias, fundamentalmente anaerobias; contribuyen a reforzar el carácter químico reductor del medio constituido por las películas del fondo.

142. Las concentraciones vitales del fondo, en relación con el carácter de su materia viva, cumplen un papel singular en la biosfera; participan, de manera esencial, en la creación de su materia inerte. En efecto, los productos básicos de sus procesos bioquímicos, en condiciones anaerobias, sin oxígeno libre, no son gases, sino cuerpos sólidos o coloidales que, en el curso del tiempo, se convierten principalmente en cuerpos sólidos. Estas regiones reúnen todas las condiciones propicias para la conservación de los organismos, ya que éstos, una vez muertos, lo mismo que sus restos, escapan prontamente de las condiciones bioquímicas habituales en las que se descomponen y pudren; para que tales procesos sobrevengan, el medio ha de contener oxígeno libre, transformándose gran parte de la materia orgá-

nica en productos gaseosos: no se consumen. No sólo la vida aerobia, también la anaerobia se extingue en el lodo marino a escasa profundidad de su cara superficial. A medida que van depositándose los detritos vitales y las partículas de materia inorgánica en suspensión, las capas inferiores del cieno marino se tornan inanimadas y los cuerpos químicos creados por la vida no tienen ocasión de transformarse en gases o de integrarse en nuevas materias vivas. La capa vital de lodo jamás supera algunos metros, mientras que crece sin cesar en superficie. En las zonas inferiores, la vida se apaga inexorablemente.

La «desaparición» de los detritos orgánicos, su gasificación, es siempre un proceso bioquímico. En las capas azoicas, los restos orgánicos se modifican de otra manera, paulatinamente; con los ciclos geológicos van mutándose en minerales vadosos sólidos y coloidales.

Los productos de una génesis semejante nos rodean por doquier; modificados por los procesos químicos, con el paso del tiempo configuran, bajo el aspecto de rocas sedimentarias, las capas superiores del planeta, alcanzando un espesor medio de varios kilómetros. Estas rocas se transforman gradualmente en metamórficas, sufren más alteraciones y, penetrando en regiones donde reinan temperaturas elevadas, en la capa magmática de la Tierra, pasan a integrarse en la composición de rocas compactas, hipobasales, de cuerpos freáticos o juveniles, que con el tiempo se reincorporan a la biosfera por efecto de la energía de la que es un exponente la elevada temperatura de estas capas (cf. 77, 78).

Estos productos llevan hasta las entrañas del planeta la energía libre, transmutada por la vida en energía química, originariamente captada por el organismo verde, en la biosfera, bajo la forma de radiaciones cósmicas, de rayos solares.

143. Las películas vitales del fondo, así como las concentraciones litorales que se les superponen, merecen pues una atención especial a la hora de evaluar el trabajo químico de la materia viva en nuestro planeta.

Configuran regiones de la corteza terrestre químicamente activas y potentes, que operan pausada pero, a fin de cuentas, uniformemente en el transcurso de todas las eras geológicas.

La distribución muy variada, en la sucesión de dichas eras, de mares y continentes en la superficie terrestre nos ilustra sobre el desplazamiento planetario de las películas y concentraciones vitales en el tiempo y en el espacio.

La importancia geoquímica de las películas vitales del fondo es muy considerable para su zona de oxidación superior (especialmente, el bentos), así como para las capas reductoras inferiores. Esta importancia aumenta en las regiones donde se confunden con las concentraciones litorales y donde el oxígeno libre, y los productos geoquímicos ligados a él y al trabajo de la

vida verde, se agregan a los productos habituales; esto es, por encima de los 400 metros (cf. 55).

El medio oxidante de la película del fondo se manifiesta con claridad en la historia de otros muchos elementos químicos además del *oxígeno*, el *nitrógeno* o el *carbono*.

En primer lugar, este medio altera profundamente la historia terrestre del *calcio*. Es muy característico que éste sea el metal predominante en la materia viva. Su proporción supera probablemente, en peso, una centésima de la composición media de la materia viva; en múltiples organismos, ante todo marinos, la proporción de calcio excede el 10, incluso el 20%. Por esta vía, por la acción de la materia viva, el calcio se disocia en la biosfera del sodio, del magnesio, del potasio y del hierro, con los que cabe compararlos en términos cuantitativos y con los cuales se combina, en moléculas comunes, en toda la materia inerte de la corteza. El calcio se disocia merced a los procesos vitales de los organismos bajo la forma de carbonatos y de fosfatos complejos, más raramente de oxalatos; persiste también, bajo esta misma forma ligeramente alterada, en los minerales vadosos de origen bioquímico.

El Océano, principalmente en sus regiones vitales —tanto litorales como profundas—, constituye el mecanismo mediante el cual se originan las concentraciones de compuestos cálcicos del planeta, ausentes en las zonas más recientes de su corteza —ricas en silicio— y en las regiones freáticas profundas.

Se generan anualmente en el Océano, como mínimo, 6×10^{14} gramos de calcio en la modalidad de carbonatos. Hay entre 10^{18} y 10^{19} gramos de calcio en estado de migración permanente en el ciclo vital de la materia orgánica, lo cual implica una porción bastante considerable del calcio total que existe en la corteza terrestre (en torno a 7×10^{24} gramos) y una porción muy considerable del calcio de la biosfera. El calcio se concentra no sólo por la acción de los organismos bentónicos que poseen una gran velocidad de transmisión vital —moluscos, crinoides, estrellas de mar, algas, corales, hidroideos y otros—; también lo fijan las protistas del lodo marino y sobre todo el plancton, incluido el nonioplancton, así como las bacterias dotadas de la energía geoquímica cinética máxima de la materia viva.

Al liberar los compuestos cálcicos que forman montañas enteras, macizos con un volumen de algunos millones de kilómetros cúbicos, la energía solar regula la actividad de los organismos y determina la química de la corteza terrestre, como ocurre por medio de la descomposición del ácido carbónico y del agua, creándose, por esta vía, compuestos orgánicos y oxígeno libre.

El calcio se desprende fundamentalmente bajo la forma de carbonatos, pero también de fosfatos. Los ríos lo transportan hasta los Océanos; en tie-

rra firme, su parte principal ha pasado ya por otra forma debido a la acción de la materia viva terrestre (cf. 156).

144. Tales regiones donde se concentra la vida ejercen una impronta análoga en la historia de otros elementos habituales de la corteza terrestre: sin duda, en la del *silicio*, el *aluminio*, el *hierro*, el *manganeso*, el *magnesio*, el *fósforo*.

Siguen persistiendo muchos enigmas en estos fenómenos naturales complejos, pero el resultado final, la enorme importancia de esta película vital en la historia geoquímica de los elementos enumerados, no deja lugar a dudas.

En la historia del *silicio*, la influencia de la película del fondo se manifiesta a través de la formación de sedimentos de restos de organismos silíceos que proceden ora del plancton, ora del fondo —radiolarios, diatomeas, esponjas de mar—. En suma, se originan las mayores concentraciones conocidas de sílice libre, alcanzando un volumen de millones de kilómetros cúbicos. Esta sílice libre, inerte y poco proclive a modificarse en la biosfera, supone un factor químico potente en su calidad de portadora de energía química libre en las capas metamórficas y magmáticas de la Tierra, dado su carácter químico ácido de anhídrido libre.

No caben dudas acerca de la segunda reacción bioquímica que se produce, cuya importancia todavía no somos capaces de dilucidar. Nos referimos a la descomposición, por obra de las diatomeas y quizá de las bacterias, de los aluminosilicatos de estructura caolínica que, por un lado, causa la formación de los depósitos de sílice libre de los que ya hablamos y, por otro lado, la creación de hidróxidos de aluminio. Este proceso, al parecer, no es patrimonio exclusivo de los lodos marinos; según las investigaciones de J. Murray y R. Irvin, acontecería asimismo en las partículas arcillosas en suspensión en el agua marina, que son a su vez el fruto de procesos bioquímicos de la alteración superficial de la materia inerte de los continentes y las islas.

145. La importancia de tales regiones y de sus reacciones bioquímicas se repite en la historia del *hierro* y del *manganeso*. El resultado de dichas reacciones tampoco se cuestiona: nos referimos a la génesis de las mayores concentraciones de estos elementos conocidas en la corteza terrestre; por ejemplo, los minerales de hierro de la Era Terciaria —mesozoicos— de Kertch, en Lorena. Todo indica que esas limonitas y cloritas ricas en hierro se han formado con la intervención directa de manifestaciones vitales. Aun cuando el fenómeno, a nivel químico, no esté perfectamente dilucidado, el hecho fundamental, su carácter bioquímico, bacteriano, es indiscutible. Los trabajos recientes de los investigadores rusos B. Perfiljev, P. Butkevitch y B. Issatshenko (1926-1927) así lo han confirmado.

Los mismos procesos se repiten en la extensión total de la historia geológica desde la era precámbrica (arcaica). De esta suerte se han formado, por ejemplo, las más grandes y antiguas concentraciones de hierro en Minnesota (M. Gruner, 1924).

Los numerosos minerales de manganeso y sus máximas concentraciones en Transcaucasia presentan un carácter similar. Se producen transiciones entre los minerales de hierro y manganeso; actualmente acontecen, en espacios considerables del fondo del mar, síntesis análogas, cuyo origen bioquímico bacteriano es prácticamente seguro.

146. La génesis de los compuestos del fósforo que, todavía hoy, se depositan en el fondo marino en unas condiciones que desconocemos, ofrece similitudes. No se discute su vinculación con fenómenos de la vida, con los procesos bioquímicos, pero hay que seguir indagando sobre el mecanismo exacto del proceso.

Es un hecho comprobado que el fósforo de los yacimientos de fosforitas de esta clase, bajo forma de concreciones, conocidas en la extensión de toda la historia geológica —por lo menos, desde el cámbrico—, tiene un origen orgánico. Por doquier está ligado a las concentraciones vitales del fondo marino. Todavía hoy se están formando, en tales regiones, aunque a menor escala, concentraciones de fosforitas en las proximidades del Sur de África, por ejemplo.

Sin duda una parte de este fósforo ya había sido acumulada por los organismos, durante su existencia, bajo la forma de fosfatos complejos, concentrados en diversas zonas de los cuerpos, ricas en fósforo.

No obstante, el fósforo de los organismos, tan imprescindible vitalmente, no suele abandonar el ciclo de la vida. Las condiciones en que puede emigrar no están claras; todo parece indicar, sin embargo, que, juntamente con el fósforo de los esqueletos —compuestos sólidos de calcio—, el fósforo de los compuestos orgánicos coloidales, así como los fosfatos de los humores orgánicos, se transforman en concreciones y participan, de este modo, en la emigración del ciclo vital.

La emigración del fósforo se efectúa cuando perecen organismos con esqueletos que lo contienen en abundancia y se dan las condiciones que imposibilitan los procesos habituales de alteración de sus cuerpos, preparando un medio favorable a la actividad vital de bacterias específicas. Sea como fuere, queda establecido el origen biogénico de tales concentraciones de fósforo, su vinculación estrecha y permanente con el limo del fondo, así como la reproducción incesante de fenómenos análogos en el curso de todos los tiempos geológicos.

Así se acumulan las mayores concentraciones de fósforo conocidas, tales como los yacimientos terciarios del Norte de África o de los estados suorientales en Norteamérica.

147. Los conocimientos sobre el trabajo químico de la materia viva en la película del fondo marino son muy imperfectos. No se cuestiona su importancia en la historia del *magnesio*, del *bario*; podría afectar a la de otros elementos como el *vanadio*, el *estroncio* o el *uranio*. Nos hallamos ante un vasto campo de fenómenos apenas explorado por las ciencias experimentales.

Otra zona de la *película del fondo*, la inferior carente de oxígeno, es todavía más insondable y enigmática. Es la región de la vida bacteriana anaerobia y de los fenómenos físico-químicos relacionados con los compuestos orgánicos que acceden hasta ella. Tales compuestos han sido creados en un nuevo medio rico en oxígeno por organismos vivos singulares, diferentes de los que pueblan nuestro contexto vital ordinario.

A pesar de que ignoremos mayormente los procesos que se desarrollan en el fondo marino y de que nos veamos abocados a recurrir a conjeturas a fin de responder a las múltiples cuestiones que se relacionan con aquéllos, no procede prescindir de tales procesos; conviene tomarlos en consideración a la hora de evaluar el papel de la vida en el mecanismo de la corteza terrestre.

Dos generalizaciones empíricas se salvan de cualquier incertidumbre: 1.^a la importancia de estos yacimientos en el lodo marino —que abundan en detritos orgánicos— en la historia del *azufre*, el *fósforo*, el *hierro*, el *cobre*, el *plomo*, la *plata*, el *níquel*, el *vanadio*, presumiblemente del *cobalto*, amén de otros metales más escasos; 2.^a la reproducción de este fenómeno en diversos períodos geológicos a una escala importante, destacando el vínculo que lo liga a las condiciones físico-geográficas específicas de la desecación secular de las cuencas marinas y al carácter biológico de dichas condiciones.

148. También está fuera de dudas la acción inmediata que ejercen algunos organismos vivos en la liberación del *azufre*. Nos referimos a las bacterias, que desprenden el ácido sulfhídrico, descomponiendo los sulfatos, politionatos o los compuestos orgánicos complejos que contengan tal elemento.

El ácido sulfhídrico que se desprende interviene en múltiples reacciones químicas y produce metales sulfurosos. La liberación bioquímica de este compuesto es un fenómeno característico de toda esta región y se repite continuamente en cualquier punto del lecho marino: enseguida se oxida de nuevo bioquímicamente en las zonas superiores originando sulfatos, que recomenzarán el mismo ciclo de transformaciones.

La génesis bioquímica de los compuestos de los restantes metales no resulta tan clara. No obstante, todo apunta a que el hierro, el cobre, el vanadio y quizá otros metales que se asocian con el azufre, han sido creados por la alteración de organismos ricos en tales elementos. Por otro lado,

muy probablemente las materias orgánicas del lodo marino posean la propiedad de fijar los metales, de concentrarlos a partir de soluciones diluidas; los átomos de los propios metales, sin embargo, a veces no guardan relación alguna con la materia viva.

Ahora bien, sea como fuere, la liberación de metales no tendría lugar si no hubiera restos orgánicos; es decir, si el lodo marino no consistiera, en su parte orgánica integrante, en un producto de la materia viva.

Semejantes procesos se observan hoy a gran escala en el Mar Negro (génesis de sulfuro de hierro) y, a menor escala, en otros muchos casos. Por lo demás es posible establecer su potente desarrollo en diferentes períodos geológicos. Así se han liberado en la biosfera cantidades ingentes de cobre, procedente de soluciones ricas en materias orgánicas y en organismos de una composición química específica, en diversas localidades de Eurasia en los períodos pérmico y triásico.

149. De lo expuesto se deduce que, a través de todos los períodos geológicos, persiste la misma distribución de la vida; también que se repite su manifestación en la química planetaria. Las mismas películas vitales —plancónica y del fondo—, las mismas concentraciones vitales¹⁸ han existido en el curso de todos los tiempos, siendo un componente del mismo mecanismo bioquímico que no ha cesado de funcionar en cientos de millones de años.

Los continuos desplazamientos de tierra firme y del mar han determinado que se trasladen a la superficie del planeta las mismas regiones químicamente activas, formadas por la materia viva, las películas y las concentraciones vitales de la biosfera. Dichas concentraciones y películas se han transplantado así de un lugar a otro, como manchas en la faz terrestre.

Al estudiar los primitivos yacimientos geológicos, ningún dato sugiere que se haya producido algún tipo de cambio en la estructura de la hidrosfera o en sus manifestaciones químicas.

Desde el punto de vista morfológico, sin embargo, el mundo vivo se ha transmutado radicalmente durante los mismos ciclos. Su evolución no ha ejercido pues influencia destacable alguna ni sobre la cantidad de materia viva, ni sobre su composición química media: la evolución morfológica ha debido afectar a unos ámbitos determinados, sin interferir en las manifestaciones vitales dentro del marco químico del planeta.

No obstante, la evolución morfológica ha estado indudablemente ligada a procesos complejos de carácter químico, a alteraciones químicas, las cuales, contempladas a escala individual e incluso a escala de la especie, revestían importancia. Así se creaban compuestos químicos nuevos, otros desaparecían al extinguirse determinadas especies, pero el fenómeno no re-

¹⁸ Por lo menos en el caso de las concentraciones litorales.

percutía de modo sensible en las líneas maestras del impacto geoquímico de la vida, ni en su expresión planetaria. Incluso un fenómeno bioquímico de enorme alcance, la creación del esqueleto de los metazoos rico en calcio, en fósforo, a veces en magnesio, no ha dejado huella en la historia geológica de estos elementos. Es muy probable, sin embargo, que en una época anterior, en la era paleozoica, los organismos hayan carecido de un esqueleto similar: esta hipótesis, frecuentemente considerada como una generalización empírica, explica, efectivamente, muchos rasgos importantes en la historia paleontológica del mundo orgánico.

Aunque tal fenómeno no haya incidido en la historia geoquímica del fósforo, del calcio ni del magnesio, conviene admitir que, en la etapa previa a la creación de los metazoos provistos de esqueletos, había tenido lugar la formación, a idéntica escala, de los compuestos de estos elementos por efecto de la actividad de las protistas, además de las bacterias; un proceso semejante acontece todavía en nuestros días, pero su funcionalidad, antaño, debió ser infinitamente más relevante y universal.

Si ambos fenómenos, distintos desde la óptica de la cronología geológica y de sus mecanismos, provocaron la migración biógena de los mismos átomos en masas idénticas, el cambio morfológico, por drástico que fuere, no habrá tenido repercusión en la historia geoquímica del calcio, del magnesio ni del fósforo. Todo induce a pensar que un hecho de tal orden se ha producido realmente en la historia geológica de la Vida.

La materia viva en tierra firme

150. *La tierra firme* ofrece un panorama absolutamente distinto al de la hidrosfera. En última instancia, *no existe más que una película vital, formada por el suelo con la flora y la fauna que lo habitan.*

Ahora bien, en la superficie de esta única película animada de vida, hay que separar las concentraciones acuosas de la materia viva, las cuencas hídricas, que desde un punto de vista bioquímico, e incluso meramente biológico, así como en lo que atañe a su impacto geológico, divergen claramente de tierra firme.

La vida recubre la tierra firme de una película prácticamente ininterrumpida; hallamos vestigios de su presencia en los glaciares y las nieves perpetuas, en los desiertos, en las cumbres montañosas. No podría hablarse de ausencia de vida en la superficie de tierra firme: sólo cabría hablar de ausencia temporal, de baja intensidad. Asumiendo una u otra forma, la vida se manifiesta por doquier. Los espacios terrestres donde escasea, los espacios vitalmente pobres —desiertos, glaciares, nieves perpetuas, cumbres nevadas— apenas suponen un 10% de su superficie. El resto es, por antonomasia, una película animada de vida.

151. No se trata de una cubierta gruesa, pues apenas mide algunas decenas de metros sobre el nivel del suelo en las áreas pobladas de bosques, limitándose a algunos metros en los campos y estepas.

Las selvas de los países equinociales, donde los árboles consiguen un mayor desarrollo vertical, configuran capas vitales con un espesor medio entre los 40 y 50 metros. Los especímenes más altos llegan hasta los 100 metros, pero se pierden entre la masa arbórea total, por lo que cabe desestimarlos a causa de su impacto mínimo.

La vida no desciende al mundo subterráneo más allá de unos cuantos metros; la vida aerobia se extingue a más de 5 metros de promedio, penetrando la anaerobia hasta unas decenas de metros.

Por tanto, la película vital recubre la superficie de los continentes con un manto cuyo espesor se eleva a varias decenas de metros (masas arbóreas) y se limita a unos pocos metros (hierbas y arbustos).

La actividad de la civilización humana ha introducido cambios en la estructura de esta cubierta sin parangón posible en parte alguna de la hidrosfera.

Tales alteraciones comportan, en la historia geológica del planeta, un fenómeno nuevo cuyo efecto geoquímico no ha sido evaluado aún. Uno de sus máximos exponentes consiste en la destrucción sistemática de los bosques en el curso de la historia de la humanidad; es decir, en la supresión de las zonas más activas de la cubierta.

152. Nosotros también somos parte integrante de esta capa; las alteraciones que se han efectuado en su composición y en su manifestación en el curso del ciclo solar anual son patentes.

Los organismos que descuellan por la cantidad de materia abarcada por la vida son las plantas verdes y, en este grupo, hierbas y árboles; entre la población animal destacan los insectos, los parásitos y quizá los arácnidos.

Por lo general, en contraposición manifiesta con la vida en los Océanos, la materia viva de segundo orden —animales, organismos heterótrofos— desempeña una función secundaria en la composición de la epidermis continental. Las áreas más activas —grandes selvas de los países tropicales, como el Hileo de África, o los bosques septentrionales, la Taiga— a veces equivalen a desiertos desde la óptica de los animales superiores (mamíferos, aves, vertebrados diversos). Los artrópodos, cuya presencia es para nosotros prácticamente irrelevante, constituyen la población muy enrarecida de estas potentes concentraciones de organismos verdes.

No obstante, en dicha *película continental* no se enmascaran las oscilaciones estacionales de la vida, que obedecen a fases de latencia y eclosión en la reproducción, en la manifestación de la energía vital geoquímica. Constatar tal hecho no nos ha exigido esfuerzos comparables a los exigidos

por la película planctónica. En nuestras latitudes, la vida se lentifica en invierno, se despereza y florece en primavera. El mismo fenómeno se refleja por doquier bajo formas múltiples e infinitas, con mayor o menor contundencia, desde los polos a los trópicos.

No se trata de un fenómeno que se exprese únicamente, a todas luces, en el caso de la flora verde y la fauna asociada con ella; estas fases afectan también a los suelos, a su vida invisible. Lamentablemente, es un fenómeno poco estudiado, aunque su papel en la historia del planeta, como veremos, sea mucho más relevante de lo que hasta ahora se ha solido admitir.

En definitiva, para todas las capas vitales de la hidrosfera y de tierra firme, existen unas fases, reguladas por el Sol, de intensidad de la multiplicación, de activación de la energía geoquímica, de expansión de la materia viva, de «agitación» de los elementos químicos que ésta abarca. *Los procesos geoquímicos se ven sometidos a unas pulsaciones que van creciendo y menguando sucesivamente.* Las leyes numéricas que sin duda los rigen aún no se han descubierto.

153. Los fenómenos geoquímicos relacionados con la epidermis de tierra firme son muy característicos y permiten diferenciar claramente esta capa de las películas oceánicas.

Los procesos de emigración de los elementos químicos fuera del ciclo vital nunca conducen a la configuración, en la cubierta viva de tierra firme, de concentraciones de minerales vadosos similares a los yacimientos marinos. Se depositan allí anualmente millones de toneladas de carbonatos de calcio y magnesio (calizas y calizas dolomíticas), de sílice (ópalos, etc.), de hidratos de óxido de hierro (limonitas), de compuestos hidratados de manganeso (pirolusitas y psilomelanos), de fosfatos complejos de calcio (fosforitas), etc. (cf. 143 y ss.). Todos estos cuerpos son de origen marino, en cualquier caso acuoso. Los elementos químicos de la materia viva de tierra firme emigran del ciclo vital con menos frecuencia aún que los de la hidrosfera (cf. 142). Una vez que el organismo ha perecido, o que se han destruido algunas partes de su cuerpo, los componentes materiales o bien son absorbidos de inmediato por organismos nuevos, o bien se difunden en la atmósfera bajo la forma de *productos gaseosos*. Dichos gases biogénicos —O₂, CO₂, H₂O, N₂, NH₃— son instantáneamente captados en el intercambio gaseoso de la materia viva.

Así se establece un equilibrio dinámico completo, en virtud del cual el ingente trabajo geoquímico desplegado por la materia terrestre viva, en el curso de millones de años de existencia, apenas deja huellas visibles en los cuerpos sólidos que construyen la corteza. Los elementos químicos de la materia terrestre viva se encuentran en continuo movimiento bajo la forma de gases y organismos vivos.

154. Una proporción insignificante del peso de los restos sólidos —que, no obstante, equivalen probablemente a varios millones de toneladas— abandona anualmente el equilibrio dinámico del ciclo vital de tierra firme. Esta masa se segrega bajo la forma de un polvo muy fino, «huellas» de «materia orgánica», principalmente constituida por compuestos del carbono, oxígeno, hidrógeno, nitrógeno, en menor cuantía de fósforo, azufre, hierro, silicio, etc. La biosfera, toda ella, está impregnada de esta fina polvareda de la que una pequeña parte, todavía sin determinar, emigra del ciclo vital, a veces por un paréntesis de millones de años.

Tales restos orgánicos atraviesan toda la materia de la biosfera, viva e inerte, se acumulan en todos los minerales vadosos, en todas las aguas superficiales, y son acarreados hasta el mar por los ríos y los meteoros. Su influencia en el desarrollo de las reacciones químicas de la biosfera es enorme y análoga a la de las materias orgánicas disueltas en las aguas naturales, de las que ya hemos tratado (cf. 93). Los detritos orgánicos vitales están penetrados de energía química libre en el campo termodinámico de la biosfera; en virtud de sus exiguas dimensiones, originan fácilmente sistemas acuosos en dispersión y soluciones coloidales.

155. Estos restos se concentran en los suelos de tierra firme, que no cabe considerar, sin embargo, como materia inerte sin más. La materia viva alcanza a menudo en ellos decenas de centésimas en peso. Es la región donde se concentra la energía geoquímica máxima de la materia orgánica, su laboratorio más importante desde el punto de vista de los resultados geoquímicos, del desarrollo de los procesos químicos y bioquímicos que allí acontecen.

Por su relevancia, tal región se equipara con la de los lodos de la película oceánica del fondo (cf. 141), pero se diferencia de ella por la prevalencia del medio oxidante. En lugar de medir algunos milímetros o centímetros de espesor como en el limo del fondo, este medio puede exceder el metro en los suelos. Los animales excavadores representan también aquí factores potentes en su homogeneización.

El suelo es la región de la alteración superficial resolutive en un medio rico oxígeno libre y en ácido carbónico, parcialmente formados por la materia viva que reside en su seno.

Por contraposición con el bioquimismo subaéreo de tierra firme, las formaciones químicas del suelo no intervienen en su totalidad en los torbellinos vitales de los elementos que, según el símil de G. Cuvier, constituyen la esencia de la vida; no se convierten en modalidades gaseosas de los cuerpos naturales. Abandonan transitoriamente el ciclo vital e inciden en otro fenómeno planetario grandioso, la composición del agua natural y del agua salada del Océano.

El suelo está vivo en la medida en que está húmedo. Sus procesos se efectúan en un medio acuoso, soluciones o sistemas de dispersión (coloides).

A partir de ahí se determina la diferencia entre el carácter que distingue la manifestación de la materia viva del suelo, desde el punto de vista de la química planetaria, de la de los organismos vivos que residen en él, donde el mecanismo del agua sobre tierra firme desempeña el papel protagonista.

156. El agua de tierra firme se halla en perpetuo movimiento, formando parte de un proceso cíclico geoquímico. Este ciclo viene suscitado por la energía del Sol, por sus rayos térmicos. La energía cósmica se expresa por esta vía sobre nuestro planeta en la misma medida que por medio del trabajo geoquímico de la vida. La acción del agua, en el mecanismo de toda la corteza terrestre, es absolutamente decisiva y este hecho se manifiesta con la máxima contundencia en la biosfera. El agua no sólo participa, en más de dos tercios de su peso de promedio, en la composición de la materia viva (cf. 109); su presencia supone una condición imprescindible para la multiplicación de los organismos, para la manifestación de su energía geoquímica. Gracias al agua la vida es parte integrante del mecanismo planetario.

En la biosfera, no sólo el agua es inseparable de la vida; la vida tampoco es separable del agua. Es difícil establecer dónde termina la influencia de la primera y dónde empieza la influencia de la segunda, la materia viva heterogénea.

El suelo resulta instantáneamente incluido por el ciclo geoquímico del agua; lo saturan íntegramente los meteoros. Siempre lo penetra, en la totalidad de su masa, la acción disolvente y mecánica de las aguas superficiales. Tales aguas disueltas se apoderan sin cesar de sus zonas ricas en residuos orgánicos bajo la forma de solución y suspensión. La composición del agua dulce, ligada así al suelo, viene inmediatamente dictada por el quimismo de éste; es una manifestación de su bioquimismo. El suelo determina pues claramente la composición esencial del agua de los ríos, donde se vierten, en definitiva, todas estas aguas superficiales.

Los ríos desembocan en los mares, y *la composición del agua oceánica, por lo menos de su parte salina, es obra, en última instancia y principalmente, del trabajo químico del suelo, debiéndose a su biocenosis todavía mal conocida.*

El carácter oxidante del suelo juega un papel importante: se manifiesta por los productos finales de su materia orgánica. En las aguas fluviales predominan los sulfatos y carbonatos; el sodio va ligado al cloro. En relación estrecha con el bioquimismo de estos elementos en el suelo, su carácter en el agua fluvial se diferencia claramente del de los compuestos sólidos que producen en las capas terrestres exentas de vida.

157. Se observa asimismo, con respecto a la circulación del agua en tierra firme, otras manifestaciones químicas regulares de la materia viva que puebla esta región.

La vida que colma las *cuencas hídricas* se distingue claramente, por sus efectos, de la que puebla las regiones subaéreas.

En las cuencas hídricas se aprecian fenómenos en gran medida análogos a los de las *películas* y concentraciones vitales de la hidrosfera; cabe observar, a menor escala, la película planctónica, la del lecho y las concentraciones litorales. No sólo se aprecian los procesos propios del medio con oxígeno, sino también las reacciones químicas que se producen en el medio *reductor*. Por último, la emigración de los elementos químicos fuera del ciclo vital juega allí un papel importante, así como la formación de productos sólidos, que entrarán después en la composición de las rocas sedimentarias de la corteza terrestre. Parece que el proceso de liberación de los cuerpos sólidos en la biosfera está ligado, lo mismo que en la hidrosfera, a los fenómenos del medio reductor, a la rápida combinación del oxígeno libre y, en última instancia, a la desaparición de la vida aerobia de las protistas, además de a la desaparición de su vida anaerobia.

Aunque exista una semejanza a grandes rasgos, el impacto geoquímico de este fenómeno de tierra firme se diferencia básicamente del de la hidrosfera.

158. La disimilitud estriba en la clara diferencia que existe entre la hidrosfera y las cuencas hídricas de tierra firme. La distinción química fundamental consiste en la cualidad dulce de su masa principal de agua; la distinción física, en la escasa profundidad de estas cuencas. La mayor parte del agua, en tierra firme, no está confinada en los ríos, sino en charcas, lagos y ciénagas. Dado su bajo nivel, sólo configura una *concentración vital, dulce o salobre*. En los mares de agua exclusivamente dulce —por ejemplo, en el Baikal—, se observan películas vitales segregadas, análogas a las oceánicas. Pero los lagos profundos constituyen una excepción.

El papel bioquímico de los lagos no concuerda con el de las masas de agua oceánicas; la divergencia se expresa, en primer término, en el hecho de que son otros los productos que se liberan en las extensiones de agua dulce. El primer puesto lo ocupan los compuestos del *carbono*. Aun cuando la sílice, los carbonatos de calcio y los hidróxidos de hierro se formen en las películas del fondo y en las concentraciones vitales de las cuencas en tierra firme, su importancia es secundaria con respecto a la liberación de cuerpos carbonados. En esta región es donde únicamente se crean, en un grado destacable, cuerpos sólidos vadosos estables del *carbono*, del *hidrógeno* y del *nitrógeno*, pobres en oxígeno; es decir, todos los carbones y los productos bituminosos de la Tierra. Representan las formas estables de los minerales vadosos que, al abandonar la biosfera, pasan a integrarse en otros compuestos orgánicos del carbono. El carbono se desprende bajo la forma libre de grafito cuando aquéllos terminan de transformarse en las regiones metamórficas.

La causa de que se originen cuerpos carbonitrogenados sólidos en las cuencas hídricas (salobres o de agua dulce) no está dilucidada, pero siempre ha ocurrido así en la historia geológica. No existen concentraciones de estos cuerpos, siquiera de poca entidad, en el agua marina y nunca los crea la química oceánica. No sabríamos precisar si es un efecto del carácter químico del medio o de la estructura de la Naturaleza viva, pero, ya fuere debido a la acción de uno u otra, lo que no se cuestiona es la relación de tal fenómeno con el carácter de la vida.

Las concentraciones de estas materias orgánicas implican unos centros poderosos de energía potencial —«rayos de sol fósiles», en la metáfora de R. Mayer—, cuya importancia en la historia de la humanidad es enorme, sin ser tampoco un hecho indiferente para la economía de la Naturaleza. Cabe hacerse una idea sobre la escala de las manifestaciones de este proceso al evaluar las reservas de hulla conocidas.

Parece verosímil que, en estas mismas concentraciones de agua dulce o salobre, sea donde procede buscar las fuentes principales de formación de los grandes yacimientos de hidrocarburos líquidos, del petróleo.

Paralelamente a lo que se observa en el caso de los carbones de tierra firme, estas cuencas se situarían cerca de los mares. La génesis del petróleo no constituye un proceso de superficie: es un fenómeno de descomposición de detritos orgánicos, aparentemente bioquímico, que tiene lugar al margen del oxígeno libre, junto a los límites inferiores de la biosfera. La génesis vital de las grandes bolsas de petróleo parece estar confirmada gracias a un conjunto de hechos bien establecidos por medio de la observación exacta.

Conexión entre las películas y las concentraciones vitales de la Hidrosfera con las de la tierra firme

159. De lo anteriormente expuesto se infiere que la vida, en su totalidad, compone un conjunto indivisible e indisoluble cuyas partes, además de entre sí, se relacionan con el medio inerte de la biosfera.

No obstante, la insuficiencia de nuestros conocimientos actuales no nos permite ofrecer un panorama global muy nítido.

Se trata de una tarea pendiente para años venideros, de forma que puedan interpretarse también las condiciones numéricas, cuantitativas, que habrán de servir de fundamento.

Por ahora sólo estamos facultados para captar los perfiles cuantitativos generales. Las bases de nuestras representaciones, sin embargo, aparentan ser muy firmes. El hecho fundamental es *la existencia de la biosfera durante todos los tiempos geológicos*, desde sus indicios más remotos, desde la era arqueoica.

La biosfera ha sido siempre idéntica a sí misma en sus rasgos esenciales. Así, un aparato químico único e inmutable ha funcionado sin cesar en la biosfera en el transcurso de todas las eras, propulsado por la corriente ininterrumpida de la misma energía radiante del Sol; un aparato creado, y permanentemente activado, por la materia viva. Este aparato se compone de *centros vitales determinados* que, pese a transformarse continuamente, ocupan idénticas posiciones en las capas terrestres que corresponden a la biosfera. Estas condensaciones de vida, *películas y concentraciones vitales*, conforman unas subdivisiones secundarias específicas de las capas terrestres. A fin de cuentas, su concentricidad se mantiene, aunque jamás recubran, como una sola capa ininterrumpida, toda la superficie del planeta. Conforman sus regiones químicamente activas, donde se acumulan sistemas estáticos muy diversos de equilibrios dinámicos de los elementos químicos terrestres.

Son las regiones donde la energía radiante del Sol, que incide en todo el Globo, se transforma en energía química terrestre libre. El grado de transformación depende de qué elementos químicos se trate. La existencia de estas regiones del planeta está ligada a la energía que éste recibe del Sol, por un lado, y a las propiedades de la materia viva, que acumula y transforma dicha energía en energía química terrestre, por otro. Las propiedades y la distribución de los elementos químicos, a su vez, también desempeñan un papel importante.

160. *Todos los centros vitales interactúan.* No pueden existir de manera independiente. El vínculo entre las distintas películas y concentraciones vitales, así como su carácter inmodificable a lo largo de la historia planetaria, constituyen el rasgo permanente del mecanismo de la historia terrestre.

Lo mismo que nunca ha existido período geológico alguno independiente de la tierra firme, tampoco ha existido período alguno donde ésta existiera por sí sola. Únicamente la pura fantasía científica abstracta ha podido concebir nuestro planeta como un esferoide bañado por el Océano—el «Mar Universal», de E. Suess— o como la penillanura inanimada, nivelada, árida, que en su momento había concebido E. Kant y, más recientemente, P. Lowell.

La tierra firme y el Océano han coexistido desde las eras geológicas más pretéritas. Esta coexistencia se corresponde con la historia geoquímica de la biosfera, es un rasgo definidor de su mecanismo. Desde este punto de vista, las discusiones sobre el origen marino de la vida continental parecen fútiles e ilusorias. *La vida subaérea ha de ser tan antigua como la vida marina* en la sucesión de los tiempos geológicos; sus formas evolucionan y cambian, pero tal modificación se produce siempre en la superficie terrestre, no ya en los parajes oceánicos. Si ocurriera de otra suerte, debería haber

existido una etapa de revolución, un salto brusco en el mecanismo de la biosfera, que el estudio de los procesos geoquímicos habría desvelado. *Desde la era arqueozoica hasta hoy, sin embargo, el mecanismo del planeta y de su biosfera permanece inmutable en sus grandes rasgos fundamentales.*

Los últimos descubrimientos en paleofitología parecen modificar las opiniones al uso en el sentido indicado. Las plantas verdes más antiguas, de los albores de la era arqueozoica, son de una complejidad sorprendente y denotan una larga evolución sobre tierra firme.

La vida, en sus rasgos esenciales, se mantiene inalterable; únicamente muda de forma en el curso de la historia geológica. En realidad, *todas las películas vitales—planctónica, del lecho oceánico, del suelo— y todas las concentraciones vitales—litoral, sargácica, dulce o salobre— siempre han existido en su seno.* Sus relaciones mutuas, la cantidad de materia implicada, son las que se han alterado, las que han ido variando en el curso de los tiempos. No obstante, estos cambios no han debido ser muy considerables ya que, al ser inalterable o cuasi inalterable el aporte de energía, la radiación solar, en el curso de las eras geológicas, la distribución de la misma en las películas y concentraciones vitales habrá venido necesariamente determinada por la materia viva, la única y principal parte variable en el campo termodinámico de la biosfera.

Ahora bien, ni siquiera *la materia viva es una creación accidental.* La energía solar incide en ella como en todas sus concentraciones terrestres.

Podríamos llevar el análisis más lejos, profundizar en el mecanismo complejo constituido por las películas y concentraciones vitales. Tendríamos que reconsiderar entonces, con mayor detenimiento, las formas no ya de los organismos, sino de sus asociaciones, de las materias vivas homogéneas que configuran películas y concentraciones vitales, así como las relaciones químicas que las ligan recíprocamente. Confiamos en que volveremos a abordar más adelante este doble problema: el de las materias vivas homogéneas y el de la estructura de la materia viva en la biosfera.

APÉNDICE

LA EVOLUCIÓN DE LAS ESPECIES
Y LA MATERIA VIVA¹

¹ Conferencia pronunciada en la Sociedad de Naturalistas de Leningrado el 5 de febrero de 1928.

La vida constituye una parte integrante del mecanismo de la biosfera. Es un rasgo que se infiere con claridad del estudio de la historia geoquímica de los elementos químicos, de los procesos biogeoquímicos —tan cruciales— que exigen siempre la intervención de la vida.

Las manifestaciones biogeoquímicas de la vida configuran un conjunto de procesos que, en una primera aproximación, en nada se asemejan a los que estudia la biología.

Incluso parece existir cierta incompatibilidad entre ambos aspectos de la vida, el biológico y el geoquímico; únicamente un análisis más detallado permite afinar el carácter de tal divergencia.

El análisis, en efecto, desvela que se trata, por un lado, de fenómenos idénticos con una traducción distinta y, por otro lado, de fenómenos vitales realmente diferentes y considerados de forma distinta, ya desde el punto de vista de la geoquímica o, por el contrario, desde la biología.

La comparación entre los dos enfoques modifica, confiriéndole mayor penetración, la concepción científica de los fenómenos de la vida.

La discrepancia entre una y otra representación de la vida se expresa de un modo especialmente significativo en el hecho de que la teoría de la evolución, que impregna toda la concepción biológica actual del universo, apenas desempeña un papel reseñable en geoquímica.

Nos esforzaremos en dilucidar, al hilo de nuestra exposición, la importancia de los fenómenos relativos a la evolución de las especies en el mecanismo de la biosfera.

Fácilmente llegamos a la conclusión de que, en una visión planetaria, las nociones fundamentales de la biología experimentan cambios radicales.

La especie suele considerarse, en la ciencia biológica, desde un planteamiento *geométrico*; la forma, los caracteres *morfológicos*, son el factor más representativo. En los fenómenos biogeoquímicos, por el contrario, el número ocupa el papel protagonista y se valora la especie desde un planteamiento *aritmético*. A semejanza de los fenómenos químicos y físicos, de los compuestos químicos y de los sistemas físico-químicos, las diversas especies de animales y plantas deben ser caracterizadas y definidas, en geoquímica, por unas *constantes numéricas*.

Los índices morfológicos que utilizan los biólogos, necesarios para determinar cada especie, son pues sustituidos por las constantes numéricas.

En los procesos biogeoquímicos resulta ineludible tomar en consideración las siguientes constantes: el *peso* medio del organismo, su *composición química elemental media* y la *energía geoquímica media* que posee; es decir, su facultad de producir desplazamientos o, en otras palabras, «la migración» de los elementos químicos en el campo de la vida.

En los procesos biogeoquímicos, por tanto, la materia y la energía asumen el protagonismo en vez de la forma inherente a la especie. Bajo dicha óptica, la especie se contemplará como una *materia* análoga a las restantes materias de la corteza terrestre: las aguas, los minerales, las rocas, junto con los organismos, representan el objeto de los procesos biogeoquímicos.

Considerada de este modo, la especie del biólogo puede ser enfocada como una *materia viva homogénea*, caracterizada por la masa, la composición química de sus elementos y la energía geoquímica.

Por lo general, los rasgos de las especies se expresan mediante unas cifras que informan sobre el peso, sobre la composición química y sobre la velocidad a la que se transmite la energía geoquímica, pero únicamente ofrecen una idea muy abstracta, poco explícita, acerca de la realidad.

Resulta factible sustituirla por otra idea que se ajuste mejor al carácter del proceso natural que crea al organismo. En este ámbito consideramos, desde la química física, a los organismos como unos campos autónomos donde se agrupan determinados átomos en una cantidad dada.

Tal cantidad constituye precisamente la propiedad definidora de cada individuo, de cada especie. Indica el número de átomos que el organismo de una especie concreta puede retener en función de la fuerza que le es propia fuera del campo de la biosfera, gracias a la cual los separa del entorno. El volumen del organismo y el número de átomos que comporta, expresados en magnitudes, brindan la fórmula más abstracta y, al mismo tiempo, la más efectiva de la especie en la medida en que halla su correspondencia en los procesos geológicos del planeta. Se obtiene tal fórmula midiendo las dimensiones, el peso, la composición química del organismo. El *número de átomos* y el *volumen* expresados de esta suerte equivalen, sin duda, a caracteres de la especie. La presencia de la vida en una esfera de un volumen dado y la concentración de una determinada cantidad de átomos implican un fenómeno real en la Naturaleza, tan definidor para un organismo como su forma o sus funciones fisiológicas.

En última instancia, esta valoración probablemente expresa los rasgos esenciales de su existencia con la máxima consistencia posible.

Las magnitudes obtenidas son muy considerables: por ejemplo, en lo que se refiere a la Lemna minor, el número de átomos para un organismo supera $3,7 \times 10^{20}$, alcanzando centenares de quintillones.

Unos valores de este orden corresponden a la realidad y permiten realizar comparaciones estadísticas entre especies diferentes.

La determinación de las especies según el número de átomos incluidos en el volumen ocupado por el organismo completa la característica biológica habitual de la especie, que sólo toma en consideración la forma y la estructura.

La materia homogénea viva del geoquímico y la especie del biólogo son idénticas, pero el modo de reflejarlas varía.

II

El estudio de los fenómenos de la vida en el mecanismo de la biosfera desvela discrepancias aún más básicas con respecto a las nociones biológicas ordinarias.

La biosfera, en sus rasgos fundamentales, no se ha modificado en el curso de su historia desde la era arqueozoica; así pues, desde hace dos mil millones de años por lo menos.

Su estructura se nos muestra mediante un gran número de fenómenos correspondientes, entre los cuales se cuentan los fenómenos biogeoquímicos.

Así, los ciclos geoquímicos de los elementos químicos habrían permanecido inmutables en el curso de los tiempos geológicos. En el período cámbrico debieron asumir el mismo carácter que en la era cuaternaria o que en nuestros días.

Las condiciones climáticas, las erupciones volcánicas, los fenómenos físico-químicos de la erosión han persistido, durante la totalidad de los tiempos geológicos, tal como los observamos actualmente. En el transcurso de la existencia de la Tierra hasta la aparición de la humanidad civilizada, no se ha creado ningún mineral nuevo. Las especies minerales en nuestro planeta no han cambiado o se alteran de manera idéntica con el paso del tiempo. Siempre han terminado por formarse los compuestos que conocemos. En ningún caso cabría relacionar una especie mineral con una época geológica determinada. En ello se diferencian claramente las especies minerales de las materias vivas homogéneas, de las especies de los organismos vivos. Estas últimas sufren mutaciones en el curso de los períodos geológicos; van apareciendo continuamente especies nuevas, frente a la permanencia de las especies minerales. Contemplada desde el aspecto geoquímico (en calidad de componente de la biosfera, sometido a meras oscilaciones), la vida, tomada en su conjunto, se presenta como estable e inmutable.

La vida constituye una parte integrante de los ciclos geoquímicos que se renuevan constantemente, aun cuando se mantengan siempre idénticos; no experimenta grandes alteraciones en el curso de los fenómenos estudiados por la geoquímica. La masa de materia viva —es decir, la cantidad de átomos captados por los innumerables campos autónomos de los organis-

mos— y la composición química media de la materia viva —la composición química de los átomos de los campos de la vida— deben permanecer, en definitiva, invariables a lo largo de los períodos geológicos. Por lo demás, en el decurso de los siglos, las formas de energía con las cuales se vincula la vida, la radiación solar, tampoco se han modificado substancialmente en lo que se refiere a las magnitudes.

Simplemente se registran oscilaciones en todos estos fenómenos, ora en un sentido, ora en otro, en torno a un valor medio que se nos manifiesta constante.

III

La inmutabilidad que es propia de todos los procesos cósmicos en el curso de los períodos geológicos contrasta significativamente con las modificaciones profundas que han experimentado, en el mismo tiempo, las formas de vida estudiadas por la biología.

Concretamente, existe la certeza de que todos los caracteres de la especie, establecidos por los fenómenos geoquímicos, se han alterado radicalmente, en frecuentes ocasiones, a lo largo de las fases geológicas. Múltiples especies, animales y vegetales, han desaparecido, formándose otras nuevas con un peso diferente, una composición química y una energía geoquímica distintas de sus predecesoras. No cabe duda de que la composición química de unos cuerpos morfológicamente dispares varía. Las especies desaparecidas correspondían, necesariamente, a otras formas de materia viva homogénea actualmente extinguidas. Sus constantes numéricas eran diferentes.

Aunque la acción general de la vida permanece idéntica, incluso en los detalles —como en los fenómenos de la erosión, por ejemplo—, ello indica *la posibilidad de que se originen nuevas agrupaciones en el seno de los elementos químicos, pero en caso alguno la posibilidad de una modificación radical de su composición ni de su cantidad*. Estas nuevas agrupaciones no repercuten en la constancia ni en la inmutabilidad de los procesos geológicos (geoquímicos, en tal caso).

Es un hecho novedoso de gran trascendencia científica, cuya introducción en el ámbito de la biología es menester atribuirle al estudio geoquímico de la vida.

Mientras que el aspecto morfológico, geométrico de la vida —considerada globalmente—, experimenta grandes cambios y se manifiesta constantemente mediante la espectacular evolución de las formas vivas desde la era arqueozoica, la fórmula numérica, cuantitativa de la vida, siempre tomada en su conjunto, permanece inmutable en sus proporciones básicas y, según todos los indicios, en sus funciones esenciales.

Indudablemente el estudio minucioso de los fenómenos de la evolución, en el campo de la biología, desvela la extrema irregularidad del proceso. No cabe hablar de cambio constante de todas las especies, de todas las formas de vida. Muy al contrario, algunas especies han subsistido inalteradas durante centenares de millones de años, como las especies de radiolarios de la época precámbrica que no pueden diferenciarse de las actuales, por ejemplo; igual cabe afirmar de las especies de la *Lingula*, que desde el cámbrico hasta hoy no se han transformado; siguen siendo idénticas en el curso de centenares de millones de años, a través de las innumerables generaciones que se han sucedido. Podríamos citar muchísimos ejemplos análogos para períodos quizá menos largos, durante los cuales, si se han producido cambios, éstos han sido, en cualquier caso, poco considerables. Por tanto, no sólo resulta posible observar y estudiar la *variabilidad* en las formas vivas, sino también su extraordinaria *estabilidad*. Presumiblemente tal estabilidad morfológica de las especies en el curso de millones de años, de millones de generaciones, supone el rasgo más característico de los seres vivos, mereciendo la máxima atención del biólogo.

Estos fenómenos puramente biológicos son probablemente la manifestación de la inmutabilidad de la vida, considerada en su esencia, en el curso de toda la historia geológica; una inmutabilidad que desvela su papel en el mecanismo de la biosfera bajo una modalidad distinta.

La estabilidad de las especies merecería pues atraer la atención de los biólogos más de lo que ocurre en nuestros días.

El pensamiento de los biólogos actuales se ha orientado en una dirección distinta. La evolución morfológica en el curso de los tiempos geológicos parece ser el rasgo sobresaliente de la historia de la vida, abarcando en apariencia toda la Naturaleza viva.

Este fenómeno se comprobó empíricamente, y conforme a unos procedimientos rigurosos, hace un siglo: G. Cuvier, un naturalista eminentemente profundo y preciso, demostró la existencia de un universo distinto, que desconocíamos, en una época geológica anterior. Dicha constatación provocó en vida de A. Wallace y de C. Darwin, así como posteriormente, un giro radical en la concepción del universo científico de los naturalistas. La evolución de las especies ocupa la posición central en la visión de éstos y polariza la atención hasta el punto de que se desestiman otros fenómenos biológicos tanto o más importantes, si cabe.

La noción de la evolución de las especies se apropia del pensamiento científico hasta tales extremos que cualquier fenómeno o explicación nuevos, en el ámbito de la biología, deben relacionarse, para ser aceptados, con tal noción de una manera más o menos explícita.

Es menester dilucidar las manifestaciones de esta evolución en los procesos biogeoquímicos, ya que el desarrollo ulterior de los estudios geoquímicos se halla actualmente paralizado por falta de datos, que sólo pueden

suministrar los biólogos. Los fenómenos biogeoquímicos deben incorporarse a la esfera de los intereses de la biología.

Por otra parte, investigar la relación que sin duda existe entre la evolución de las especies y los fenómenos biogeoquímicos entraña, como tarea, un gran significado.

La conexión entre la evolución de las especies y el mecanismo de la biosfera —el desarrollo de los procesos biogeoquímicos— no se presta a controversia. Para demostrarla bastaría esgrimir el hecho de que los estadísticos básicos que caracterizan tales procesos son propiedades de la especie que se modifican en el curso de la evolución; gracias, precisamente, al estudio de ese vínculo, cabe determinar los lazos que existen entre la inmutabilidad de las leyes de la vida, considerada en su conjunto en geoquímica, y su evolución, siempre considerada globalmente en biología.

Nos hallamos ante uno de los problemas científicos más importantes de nuestros días.

IV

Abordaremos el problema en cuestión a partir del estudio de la *migración biógena de los elementos químicos de la biosfera*, caracterizada por la regularidad de formas que reviste.

Denominaremos *migración de los elementos químicos* a cualquier desplazamiento de los mismos, independientemente de la causa originaria. La migración en la biosfera puede deberse a procesos químicos, como en el caso de las erupciones volcánicas; la provoca el traslado de masas líquidas, sólidas, gaseosas, en las evaporaciones y en la formación de sedimentos; se tiene constancia de ella a través del movimiento de los ríos, de las corrientes marinas, de los vientos, del deslizamiento de capas terrestres, etc.

La *migración biógena* originada por la intervención de la vida, contemplada en su conjunto, figura entre los procesos más grandiosos y típicos de la biosfera, constituyendo el rasgo esencial de su mecanismo.

Cantidades innumerables de átomos se ven sometidos a la acción de una migración biógena ininterrumpida.

Huelga que insistamos sobre el impacto producido en la biosfera por una migración biógena a tal escala. Hemos tratado ya la cuestión repetidamente.

No obstante, conviene subrayar ciertos rasgos esenciales de la migración biógena, ya que es indispensable conocerlos para comprender el desarrollo de nuestros argumentos.

En primer lugar, *existen varias modalidades, absolutamente distintas, de migración biógena. Por un lado, ésta se liga del modo más íntimo, genéticamente, a la materia del organismo vivo, a su existencia.* Cuvier nos ofreció

una definición exacta y acertada del organismo vivo en su existencia, equiparándolo a una corriente incesante, a un torbellino de átomos que fluyen desde el exterior, adonde luego retornan. El organismo vive en tanto subsiste el flujo de átomos. La corriente abarca toda la materia del organismo. Cada organismo individual, o todos los organismos juntos, crean sin cesar por medio de la respiración, la nutrición, el metabolismo interno, la reproducción, una corriente biógena de átomos, que construye y mantiene a la materia viva. En suma, se trata de la modalidad esencial y principal de la migración biógena, cuya importancia numérica viene determinada por la masa de materia viva existente en un momento dado en nuestro planeta. Pero con ello no abarcamos toda la migración biógena.

Evidentemente, el efecto de toda la migración biógena no depende directamente de la masa de materia viva. Depende de la cantidad de átomos tanto como de la intensidad de sus desplazamientos en relación estrecha con la vida. La migración biógena se hará más intensa en la medida en que los átomos circulen más deprisa; esta migración puede ser muy diversa, por más que sea idéntica la cantidad de átomos abarcados por la vida.

Llegamos a la *segunda modalidad de migración biógena, que está en función directa de la intensidad de la corriente biógena de los átomos.*

Aún existe una tercera forma, que empieza a adquirir en nuestra época —una época psicozoica— una importancia extraordinaria en la historia de nuestro planeta. Aludimos a la migración de los átomos suscitada también por los organismos, pero que no se relaciona genética, ni directamente, con la penetración o el paso de los átomos a través de sus cuerpos. *Esta migración biógena está ocasionada por el desarrollo de la actividad técnica.* Viene determinada, por ejemplo, por el trabajo de los animales excavadores, cuyas huellas se nos aparecen desde las épocas geológicas más remotas; por la repercusión de la vida social de los animales constructores —termites, hormigas, castores—. Ahora bien, tal forma de migración biógena de los elementos químicos ha logrado un desarrollo extraordinario desde que surgió la *humanidad civilizada*, hará unos diez mil años. Por esta vía se han creado cuerpos totalmente nuevos, como los metales en estado libre, por ejemplo. La faz de la Tierra se transforma y desaparece la Naturaleza virgen.

Tal migración biógena no parece relacionarse directamente con la masa de materia viva; está condicionada, en sus rasgos esenciales, por el razonamiento del hombre.

Por último debemos añadir, en cuarto lugar, los cambios en la distribución de los átomos provocados por la aparición, en la biosfera, de nuevos compuestos de origen orgánico. *En lo que atañe a sus efectos, probablemente sea la forma más potente de migración biógena.* No obstante, no puede ser evaluada cuantitativamente y no habré de ocuparme aquí de la misma.

Es el caso, por ejemplo, de la migración que determina la liberación de oxígeno en estado libre por los organismos con clorofila, o la que está causada por la transformación de combinaciones químicas, desconocidas hasta ahora en la biosfera y creadas por el genio humano.

Sin duda este tipo de migración química no siempre resulta fácilmente discernible de los dos primeros. Por ejemplo, la potente migración química provocada por la destrucción de los cuerpos de los organismos muertos se vincula estrechamente con los procesos de putrefacción y fermentación, originados por la existencia de organismos específicos.

No obstante, los procesos bioquímicos no la explican íntegramente.

V

Las diferentes formas de migración química reseñadas constituyen una particularidad sobre la que será preciso volver en nuestra exposición subsiguiente.

Las leyes físicas que la rigen agregan un segundo rasgo característico.

La migración biógena es un elemento de otro proceso de la biosfera todavía más potente; nos referimos a *la migración general de sus elementos*. Tal migración viene en parte determinada por la influencia de la energía solar, por la fuerza gravitatoria y por la acción de las capas internas de la corteza terrestre sobre la biosfera.

Cualquiera que sea su causa, todos estos desplazamientos de elementos responden a diversos sistemas de equilibrios mecánicos específicos; concretamente, en la historia de los distintos elementos químicos configuran ciclos geoquímicos cerrados, torbellinos de átomos.

Pueden relacionarse, sin excepción, con las leyes de los equilibrios heterogéneos y con los principios formulados por W. Gibbs.

Los procesos cíclicos en los que participa la migración biógena están alimentados por una fuerza externa, cuya permanente afluencia los renueva. Las fuerzas de la energía radiante del Sol y de la energía atómica cumplen un papel destacado en la repetición de dichos procesos.

Estos equilibrios, estudiados al margen del aporte de energía externa, son unos sistemas mecánicos que desembocan indefectiblemente en un estado estable. Su energía libre será cero, o cuasi cero, cuando finaliza el proceso, ya que todo el trabajo susceptible de efectuarse en este sistema se efectuará por definición, en último término. En los equilibrios de esta clase, el trabajo siempre alcanza un máximo, mientras que la energía en estado libre tiende a un mínimo.

La migración biógena es una de las principales formas de trabajo en estos sistemas de equilibrios naturales y, por ello, debe tender a una manifestación máxima.

Cabe considerar dicha propiedad de la migración biógena como un principio geoquímico esencial que rige de manera automática los fenómenos biogeoquímicos.

Este primer principio biogeoquímico —así lo designaremos— puede ser formulado como sigue:

La migración biógena de los elementos químicos en la biosfera tiende a su manifestación más completa.

VI

Examinemos ahora cómo se expresan ambas propiedades de la migración biógena en la biosfera: el primer principio biogeoquímico y la existencia de sus dos formas de manifestarse, la que se relaciona con la masa de materia viva y la que se relaciona con la técnica de la vida.

La masa de materia viva, una vez culminada la migración biógena máxima en la biosfera, alcanzará pues sus límites postreros, en el supuesto de que existan.

La invariabilidad de tal masa parece indicar que la migración biógena, bajo esta modalidad, ha llegado prácticamente a alcanzar dichos límites desde las épocas geológicas pretéritas.

No sucede así con la migración biógena de los elementos que se refiere a la técnica de la vida. Detectamos un salto brusco en nuestra época geológica psicozoica.

Presenciamos el desarrollo de esta modalidad biógena de migración y, conforme al primer principio biogeoquímico, debemos admitir que tal forma de migración de los elementos forzosamente llegará, con el tiempo, a su límite máximo —siempre en el supuesto de que éste exista—, o tenderá inevitablemente a culminar su desarrollo máximo.

VII

Evaluaremos fácilmente cuán certero es el primer principio biogeoquímico estudiando la migración biógena. La tendencia de la misma a lograr su máximo desarrollo en la biosfera puede observarse en la Naturaleza con ocasión de dos fenómenos: en primer lugar, la migración biógena ocupará el mayor espacio posible, el máximo espacio que le resulte accesible dadas la masa de materia viva y la técnica de la vida que le es inherente. Este fenómeno se refleja en la ubicuidad de la vida en la biosfera, como comprobamos por doquier.

Ahora bien, en lo que concierne a su acción geoquímica, la migración biógena no sólo depende de la cantidad de átomos que capta en todo

momento en la biosfera, sino también de la rapidez con que los mismos se mueven y del número de los que atraviesan la materia viva en la unidad de tiempo, así como del desplazamiento, en dicha unidad de tiempo, provocado por una intervención de orden técnico de esta materia viva en el seno del entorno.

El primer principio biogeoquímico se manifiesta entonces por la presión de la vida, que observamos efectivamente en la biosfera, y por la aceleración creciente de la actividad técnica del hombre civilizado.

Conviene tomar también en consideración —particularmente en el fenómeno de la ubicuidad, además de en la presión de la vida— la existencia en la biosfera de formas de vida que evolucionan en unos medios con un carácter físico completamente distinto.

Se nos impone la necesidad de aceptar que la vida se manifiesta en dos espacios físicamente diferentes.

En primer lugar, en el campo de la gravitación donde vivimos. Como es lógico, es el que nos resulta más familiar.

Ahora bien, este campo, donde todo se rige por su correspondiente ley, no abarca la totalidad del ámbito vital.

Los organismos más pequeños poseen unas dimensiones prácticamente moleculares, aun cuando pertenezcan a otra década². Dichos organismos, cuyo diámetro no supera la cienmillonésima parte de un centímetro, se inscriben en el campo de fuerzas moleculares; su vida, así como los fenómenos que se relacionan con ella, no se rige meramente por la gravitación universal, sino que se someten a la acción de las radiaciones que nos circundan por doquier: en el caso de dichos organismos, éstas pueden anular las condiciones de existencia que se derivan de la gravitación.

Nos consta que estos seres tan exigüos están asimismo dotados de ubicuidad, que ocupan el espacio máximo, y que su presión vital, la intensidad del flujo de átomos que originan, son extremas.

VIII

De esta suerte podemos considerar la ubicuidad de la vida y su presión como la expresión del principio de la Naturaleza circundante, que rige la migración biógena de los elementos químicos.

El estudio de los fenómenos naturales y los hechos empíricos relacionados con ellos nos permiten concluir rápidamente que la propia ubicuidad, así como la pujanza de la vida, no son explicables en razón de la inmutabilidad de la vida actual de los organismos.

² V. VERNADSKY, *Revue génér. des Sciences*, 1928, p. 136.

Estos fenómenos van modificándose en el curso de los tiempos geológicos y mayoritariamente se desarrollan por efecto de la evolución.

La creación, como consecuencia de la misma, de nuevas formas de vida que se adaptan a las nuevas condiciones de existencia incrementa la ubicuidad de la vida y amplía su campo. La vida penetra así en regiones de la biosfera adonde previamente no había tenido acceso.

Al mismo tiempo vemos cómo, en el transcurso de las épocas geológicas, van surgiendo nuevas formas de vida. Su aparición impulsa una aceleración de la corriente de átomos a través de la materia viva, provocando también en el seno de éstos nuevas manifestaciones, desconocidas hasta el momento, así como la aparición de nuevas formas de desplazamiento.

La atención que tres generaciones ya de naturalistas han prestado a los fenómenos de la evolución de las especies ha permitido analizar la Naturaleza viva y asegurar que la ubicuidad y la presión de la vida, observadas por doquier, se han alterado substancialmente y se han incrementado en el curso de las épocas geológicas, lo cual es *un resultado de la evolución y de la adaptación de los organismos al medio*.

Un par de ejemplos bastarán para ilustrar con nitidez mis argumentos. El análisis de la fauna cavernícola prueba que se compone de organismos que, en el pasado, vivieron bajo la luz del día. Se han adaptado a condiciones distintas, extendiendo así el campo de la vida. Lo mismo cabe afirmar de una parte, al menos, del bentos oceánico. Se ha adaptado a condiciones de alta presión, frío y tinieblas, aun cuando provenga de organismos que antaño disfrutaron de condiciones distintas.

Se trata de un nuevo fenómeno que amplía el campo de la vida en la biosfera. El análisis de tales fenómenos parece indicar que el campo de la vida sigue ensanchándose en nuestra época geológica mediante la colonización de las profundidades del Océano.

En lo que concierne a otros fenómenos, continúan apreciándose sin cesar procesos idénticos. La flora y la fauna de las fuentes termales, la de las cumbres o de los desiertos y las de los glaciares y las de las nieves perpetuas se han desarrollado conforme a las leyes de la evolución. La vida, al adecuarse así al medio, se ha anexionado lentamente nuevos territorios y ha reforzado la migración biógena de los átomos de la biosfera.

Los procesos evolutivos no sólo han extendido el campo de la vida, sino que han intensificado y acelerado la migración biógena. La formación del esqueleto de los vertebrados ha alterado y aumentado, al concentrarla, la migración de los átomos de fluor y, sin duda, de fósforo; también, en el caso de los invertebrados acuáticos, la migración de los átomos de calcio.

Huelga insistir sobre el incremento superlativo de la presión de la vida en la biosfera ocasionado por la aparición del *Homo sapiens* evolucionado al que cabe designar, al parecer, mediante la combinación de la terminología de Linneo y de Bergson, utilizando la triple característica de la especie

Homo sapiens faber. La inteligencia del *Homo sapiens faber* entraña un nuevo factor que conmociona la estructura de la biosfera después de miles de siglos.

IX

Así, el análisis empírico de la Naturaleza viva circundante confirma, clara y definitivamente, que la ubicuidad y la presión de la vida en la biosfera son el resultado de la evolución. En otras palabras, *la evolución de las formas vivas en el transcurso de los tiempos geológicos sobre nuestro planeta incrementa la migración biógena de los elementos químicos en la biosfera*.

Evidentemente, la condición mecánica que determina la necesidad de la migración atómica ha persistido sin interrupciones en el curso de toda la historia geológica y la evolución de las formas de vida siempre ha tenido que ajustarse a ella.

Esta condición mecánica, que provoca tal migración biógena de los elementos, obedece al hecho de que la vida constituye una parte integrante del mecanismo de la biosfera y que, en última instancia, es la fuerza que determina su existencia.

Es indudable que la evolución de las especies se halla en correlación con la estructura de la biosfera. Ni la vida, ni la evolución de sus formas podrían existir con independencia de la biosfera, ni oponérsele como entidades naturales separadas.

A partir de este principio fundamental y del dato de que la evolución participa en el desarrollo de la ubicuidad y de la presión de la vida en la biosfera actual, nos resulta lícito establecer, en lo que atañe a la evolución de las formas vivas, un nuevo *principio biogeoquímico*.

Dicho principio, designado como *segundo principio biogeoquímico*, puede formularse como sigue:

La evolución de las especies, al cristalizar en la creación de nuevas formas de vida estables, tenderá necesariamente a incrementar la migración biógena de los átomos en la biosfera.

X

Es evidente que este nuevo principio no sirve para explicar la evolución de las especies; no interviene en los intentos de explicación, en las diferentes teorías sobre la evolución que sopesan actualmente los científicos. Tal principio admite la evolución como un hecho empírico, o más bien como una generalización empírica, relacionándola con otra de la misma clase, la generalización del mecanismo de la biosfera.

No obstante, cumple un papel específico desde el punto de vista de las teorías evolucionistas; a mi juicio, señala con una lógica infalible la vigencia de una *dirección* necesariamente unívoca para el proceso de la evolución. Tal dirección coincide perfectamente en su terminología (científica precisa) con los principios de la mecánica, con todo nuestro saber acerca de los procesos físico-químicos terrestres donde se inscribe la migración biógena de los átomos.

Cualquier teoría de la evolución debe tener presente la existencia de esa *dirección* determinada del proceso de la evolución que, con el desarrollo ulterior de la ciencia, llegará a ser evaluado cuantitativamente.

Por varias razones, entiendo que no procede hablar de teorías evolucionistas sin tomar también en consideración la cuestión fundamental de *la existencia de una dirección determinada, en el proceso de la evolución invariable, en el curso de todas las épocas geológicas*.

Contemplados en su conjunto, los anales de la paleontología no reflejan alteraciones caóticas, unas veces en un sentido, otras en el contrario, sino un fenómeno cuyo desarrollo se efectúa de una manera determinada, siempre en la misma dirección, en la del crecimiento de la consciencia, del pensamiento y de la creación de formas que incrementan el impacto de la vida en el entorno.

La vigencia de una dirección semejante en la evolución de las especies puede establecerse en términos precisos gracias a la observación.

Me limitaré a aportar un pequeño número de ejemplos, de un alcance general, alusivos al desenvolvimiento del proceso evolutivo, a las indicaciones de la paleontología consideradas desde el punto de vista de la transformación de la migración biógena en el curso de las épocas geológicas.

XI

En el período cámbrico, en los albores del mundo vivo pretérito que nosotros estudiamos, aparecieron los invertebrados superiores. Tal hecho aún no se ha establecido plenamente, pero es menester admitirlo a fin de explicar, con argumentos muy sencillos, la brusca alteración que aconteció poco después de comenzar el período cámbrico en lo que respecta a la conservación de los organismos. La absoluta inmutabilidad, en el curso de la era precámbrica, de los procesos de erosión, su total identidad —si consideramos sus rasgos esenciales— con los procesos análogos actuales, nos impide buscar la explicación para la ausencia de vestigios en la diversidad de las condiciones del medio externo.

Al mismo tiempo, tampoco hay razones para suponer que el metamorfismo de las capas terrestres provocado por una duración determinada de sus procesos haya acarreado, en aquel momento concreto, una ausencia de

vestigios orgánicos. Habría que admitir entonces que sufrieron una completa transformación todas las capas más antiguas.

Actualmente nos consta que abundan los casos de capas precámbricas sometidas a una metamorfización menor que las del período cámbrico y que las capas más recientes.

Probablemente aciertan los geólogos que defienden aquí un cambio brusco de la *migración biógena de los átomos de calcio*. Es el primer fenómeno de esta clase que hayamos podido constatar.

Podemos estimar la importancia de tal acontecimiento recordando el papel desempeñado en la biosfera por los organismos muy ricos en calcio (los organismos lo contienen con preferencia a todos los demás metales) en la formación de los sedimentos calizos. El mecanismo de la migración biógena del calcio ha estado sujeto a grandes modificaciones en la era señalada y la migración se hizo, al punto, más intensa. A juzgar por lo que sabemos a propósito de la migración del calcio, suscitada por la creación del esqueleto de los invertebrados superiores —de moluscos o de corales, por ejemplo—, comparada con la del calcio previamente liberado por los organismos microscópicos, es menester admitir un incremento repentino y radical de la intensidad de su migración cuando fueron creadas estas nuevas formas de vida.

Posiblemente una modificación semejante de la migración biógena del calcio, originada por la formación de nuevas especies provistas de esqueleto, ricas en carbonato cálcico, corresponda a la invasión concomitante de la vida en nuevos ámbitos de la biosfera. Esta modificación hubo de repercutir igualmente en la historia del ácido carbónico.

En los inicios de la vida paleozoica, quizá en el período cámbrico, destaca otro suceso importantísimo relacionado con la migración biógena de los átomos: está vinculado con la transformación radical de la vegetación silvestre de los continentes. El proceso del perfeccionamiento gradual de tales organismos, cuyo apogeo alcanzó, al parecer, su punto culminante en la era terciaria, se prolongaría todavía en varias épocas geológicas. Este proceso corresponde a la conquista, por parte de la vida, de un campo nuevo e inmenso. La aparición de los bosques, exuberantes de vida, implicó un gran cambio en la migración de los átomos de oxígeno, carbono e hidrógeno y, al mismo tiempo, en la de todos los átomos de la vida cuyo movimiento cíclico hubo de tornarse más intenso, puesto que los bosques de las nuevas fases geológicas, en particular los que tienen árboles con hojas perennes, concentran la vida, tanto animal como vegetal, en unas proporciones inusitadas hasta entonces. Si comparamos, desde este enfoque, los bosques de criptógamas de las épocas remotas con nuestros bosques o con los bosques terciarios de fanerógamas, nos parecerá enorme la diferencia en intensidad de la migración biógena.

En la era mesozoica, un nuevo hecho, la aparición de las aves, aumentó la intensidad de la migración biógena y la vida extendió aún

más su campo. Los seres voladores, por otra parte, lograron su pleno desarrollo como aves en la época mesozoica y en la era terciaria. A estas dos nuevas formas de vida van unidas dos funciones biogeoquímicas muy notables. No estamos en situación de concluir que exista una relación entre estas formas y los invertebrados voladores que se remontan muy atrás en la historia, hasta los albores de la era paleozoica, aun cuando los invertebrados voladores hayan cumplido, de forma especial, estas funciones y las sigan cumpliendo en nuestros días. En cualquier caso, la creación de las aves impulsó el mecanismo de la migración biógena en una gran medida.

En el mecanismo de la biosfera, en la migración biógena de los átomos, destaca el cometido de las aves, así como de los restantes seres voladores, para el intercambio de materia entre tierra firme y el agua, sobre todo entre el continente y el Océano. A tales efectos, el papel de las aves se contrapone con el de los ríos, pero se asemejan en cuanto a la cantidad de masas transportadas. Las migraciones de las aves refuerzan todavía más su papel respecto de la circulación biógena de átomos. La aparición de estas especies de vertebrados voladores no solamente creó nuevas modalidades de migración biógena, repercutiendo en el equilibrio químico del mar y del continente, sino que también ha provocado un incremento de la migración biógena en el curso de la historia de los elementos individuales, en particular del fósforo. Los invertebrados alados, los insectos, no han desempeñado una función tan relevante. Es cierto que los saurios voladores precedieron a las aves, pero todo indica que no ejercieron una acción comparable. La aparición de las aves parece guardar una conexión con la de nuevos tipos de bosques; o, en cualquier caso, habría coincidido con la misma.

El papel del hombre civilizado, desde el ángulo de la migración biógena, ha sido infinitamente más trascendental que el de los restantes vertebrados. Por primera vez en la historia de la Tierra, la migración biógena causada por el desarrollo de la acción de la técnica, ha podido cobrar un significado mayor que la migración biógena determinada por la masa de materia viva. Al mismo tiempo, las migraciones biógenas han variado para todos los elementos. Este proceso se ha efectuado con mucha celeridad en un lapso temporal insignificante. La faz de la Tierra se ha transformado hasta el punto de metamorfosearse y, no obstante, es evidente que la era de tal mutación apenas está iniciándose.

Estas mutaciones se ajustan a los datos del segundo principio biogeoquímico; el cambio conlleva una aceleración enorme de la migración atómica en la biosfera.

Es menester que señalemos aquí dos fenómenos: en primer lugar que el hombre ha surgido, a todas luces, de una evolución; en segundo lugar que, al observar los cambios que ocasiona en la migración biógena, verifi-

camos que son de un nuevo tipo —con el tiempo, se aceleran con una rapidez extraordinaria.

Por tanto, admitiremos sin dificultad que las alteraciones en la migración biógena se efectuaban en el curso de los períodos paleontológicos, bajo la influencia de la creación de nuevas especies animales y vegetales, con una rapidez análoga.

La nueva forma cuantitativa de migración biógena que corresponde a la civilización ha sido preparada a lo largo de toda la historia paleontológica. Habríamos podido encontrar sus primeras huellas, en el supuesto de conocer las leyes naturales desde las primeras páginas de los anales de la paleontología.

Me he detenido aquí en algunos fenómenos típicos de la evolución de las especies, alusivos a la migración biógena de los elementos químicos. En todos los casos, la correspondencia de la evolución con el segundo principio biogeoquímico resulta evidente —como se comprueba continuamente, al parecer, a partir del análisis de los anales paleontológicos.

¿Cómo se ha producido tal convergencia? ¿Es el fruto de un cúmulo fortuito de circunstancias, o se trata de un proceso más profundo, determinado por las propiedades de la vida, un proceso incesante, siempre idéntico a sí mismo en sus manifestaciones a lo largo de la historia geológica del planeta? El futuro nos brindará la respuesta.

La influencia reguladora del segundo principio geoquímico se manifestará en dos casos.

Incluso si la creación de las especies hubiera acontecido como fruto del azar, por accidente, al margen de la influencia del entorno —es decir, del mecanismo de la biosfera—, una especie cualquiera, creada de manera fortuita, no habría podido sobrevivir ni incorporarse al torbellino del planeta. Sólo la especie suficientemente estable, susceptible de aumentar la migración biógena de la biosfera, habría sobrevivido en tal época.

No obstante, no es factible contraponer actualmente, de una manera tan elemental, el organismo con el entorno —esto es, con la biosfera— como se hacía anteriormente. Sabemos que el organismo no es un huésped accidental en el entorno, que está integrado en su mecanismo complejo y sometido a leyes fijas. La propia evolución forma parte de tal mecanismo.

El naturalista ha de excluir de su concepción del universo todas las nociones filosóficas o religiosas que se han infiltrado en la ciencia desde campos foráneos. La aceptación, en los problemas de la evolución, de la independencia del organismo con respecto al medio, así como de una oposición entre ambos factores, equivaldría a un error de esta clase.

Desde tal perspectiva, probablemente exista un lazo íntimo entre la concordancia de la evolución y el principio que la rige; sin duda no se trata de un mero cúmulo de circunstancias.

Sin indagar sus causas, sino únicamente haciendo valer el dato de que la evolución requiere una dirección determinada, el estudio de los fenómenos biogeoquímicos circunscribe el ámbito de las teorías evolucionistas científicamente admisibles.

Parece que este estudio entreabre, en nuestro horizonte, un campo adicional de fenómenos para la actividad científica que ha sido, hasta la fecha, patrimonio exclusivo de la especulación filosófica o religiosa.

La nueva forma de migración biógena, novedosa al menos a tal escala, ha sido provocada, como vemos, por la intervención de la razón humana.

No se diferencia en nada, sin embargo, de las restantes manifestaciones de la migración biógena, que se corresponden con otras funciones vitales.

Al mismo tiempo podemos establecer, en términos precisos, que la inteligencia humana modifica de manera brusca y radical la marcha de los procesos naturales, alterando lo que llamamos leyes de la Naturaleza.

La consciencia y el pensamiento, pese a los esfuerzos de generaciones de pensadores y sabios, son irreducibles a la energía y a la materia, sea cual fuere el modo de definir estos pilares de nuestro edificio científico.

¿Cómo ha podido actuar la consciencia sobre el desarrollo de unos procesos que parecen totalmente reductibles a la materia y a la energía?

Dicha cuestión ha sido recientemente planteada por el matemático americano J. Lotka³ precisamente a propósito de los fenómenos biogeoquímicos. Dudamos de que su respuesta sea satisfactoria. Con todo, ha señalado la importancia del problema y la posibilidad de abordarlo.

Probablemente no estaremos en condiciones de resolverlo hasta después de haber renovado radicalmente nuestras nociones físicas fundamentales, unas nociones que acaban de experimentar, y experimentan todavía, unas transformaciones cuya celeridad carece de precedentes en la historia del pensamiento. Las teorías físicas habrán de preocuparse necesariamente de los fenómenos fundamentales de la vida.

En tal sentido trabaja en la actualidad la investigación. Resulta inverosímil prescindir de estos descubrimientos nuevos y profundos. Entre los mismos, merecen un análisis las especulaciones del matemático y pensador inglés A. Whitehead⁴ —en realidad, más filosóficas que científicas—. Muy posiblemente otro pensador inglés, F. Haldane⁵, se halle en lo cierto cuando prevé, para un futuro inmediato, una renovación substancial de la física y de sus principios, dada la introducción, en su esfera, del estudio de los fenómenos de la vida.

³ J. LOTKA, *Elements of physical biology*, Balt., 1925.

⁴ A. WHITEHEAD, *Science and modern world*, Cambr., 1926.

⁵ F. HALDANE, *Daedalus*, L. 1926.

El estudio de los fenómenos biogeoquímicos, impulsado al máximo, nos permite precisamente penetrar en este ámbito de las manifestaciones enlazadas de la vida y la estructura física del universo, así como en el terreno de las futuras teorías científicas.

Es muy comprensible el profundo interés filosófico que entrañan actualmente los problemas biogeoquímicos.

LA BIOSFERA Y LA NOOSFERA*

* Artículo de V. I. Vernadsky publicado en la revista *American Scientist*, vol. 33, n.º 1, enero de 1945.

La Biosfera

La materia viva está constituida por todos los organismos presentes en la Tierra en un momento dado. Normalmente, esa totalidad es la que tiene importancia, si bien al considerar el efecto del hombre sobre los procesos del planeta puede tener relevancia un individuo por sí solo. Puede considerarse que la materia viva de la Tierra es la suma de la materia viva media de todos los grupos taxonómicamente reconocibles. Así, se dice que cada uno de tales grupos se compone de materia viva *homogénea*.

La materia viva existe únicamente en la *biosfera*¹, que incluye la totalidad de la troposfera atmosférica, los océanos y una delgada capa de las zonas continentales, de un espesor de tres o más kilómetros. El hombre tiende a aumentar el tamaño de la biosfera.

La biosfera se caracteriza por ser el campo de la vida, pero también, y más esencialmente, por ser la zona en la que pueden tener lugar cambios debidos a la radiación de entrada.

Dentro de la biosfera, la materia es sensiblemente heterogénea y puede diferenciarse en materia inerte y materia viva. La materia inerte predomina en gran medida en forma de masa o volumen. Se produce una migración continua de átomos desde la materia inerte hacia la viva, y viceversa. Todos los objetos de estudio de la biosfera tienen que contemplarse como *cuerpos naturales* de la biosfera y pueden ser de diferente complejidad, inertes, vivos, o bioinertes, como sucede en el caso de la tierra o del agua de los lagos. El estudio de todos los fenómenos posee una unidad que lleva a la elaboración de un cuerpo de conocimiento sistematizado, el *corpus scientiarum*, que tiende a crecer como una bola de nieve; este *corpus* incluye todo el conocimiento sistematizado y contrasta con los resultados de la filosofía, la religión y el arte allí donde la verdad puede revelarse de forma intuitiva; la historia sistematizada de tales actividades pertenece al corpus.

¹ El concepto de «biosfera», es decir, de «área de la vida», fue introducido en la biología por Lamarck (1744-1829), en París a comienzos del siglo XIX, y en la geología por Suess (1831-1914), en Viena a finales del mismo siglo. Sobre la biosfera, véase V. VERNADSKY, *Ocherki geokhimii*, 4.^a edición, Moscú-Leningrado. Índice; *Biosfera* (La Biosfera), Leningrado, 1926; edición francesa, París, 1929.

En el pasado, dos conceptos se han subrayado de forma inadecuada: (a) Pasteur tenía razón al considerar la preponderancia de los compuestos ópticamente activos como propiedad general más característica de la materia viva y sus productos; esa idea es de inmensa importancia; (b) se han desatendido gravemente las funciones de los organismos vivos en la energética de la biosfera. La energía biogeoquímica puede expresarse como la velocidad a la que la biosfera puede colonizarse por una especie dada. Para determinadas bacterias, la velocidad restrictiva de extensión de una cadena divisora de células que propenden a abarcar toda la circunferencia de la Tierra tendería a aproximarse a la velocidad del sonido.

Si se tiene en cuenta estos principios iniciales, la diferencia entre la materia viva y la inerte de la biosfera puede expresarse en una tabla, que se ofrece aquí en forma resumida. Las diferencias expuestas en esta tabla no son meramente diferencias relativas a la energética y a las propiedades químicas, sino que implican también una diferencia fundamental en las manifestaciones espacio-temporales de la materia viva y de la inerte. Sugieren que la geometría apropiada para los cuerpos de los organismos vivos puede diferir de la apropiada para los cuerpos inertes.

I

A. Los cuerpos vivos naturales existen únicamente en la biosfera y sólo como cuerpos discretos. No se ha observado nunca su aparición si no es a partir de otros cuerpos vivos. Su ingreso en la biosfera procedentes del espacio cósmico es hipotética y jamás ha sido demostrada.

B. *Las formas inertes discretas se concentran en la biosfera, pero se encuentran también mucho más profundamente en la corteza terrestre. Se crean en la biosfera, pero también ingresan en ella desde abajo, por los fenómenos volcánicos, y desde el espacio cósmico, en forma de meteoritos y polvo.*

II

A. Desde el punto de vista de su morfología celular, su naturaleza protoplasmática y su capacidad reproductora, los cuerpos vivos naturales poseen

una unidad, que debe relacionarse con la conexión genética que mantienen entre sí a lo largo del tiempo geológico.

B. *Los cuerpos inertes naturales son extraordinariamente variados y no poseen conexiones estructurales o genéticas comunes.*

III

A. Las diferencias químicas entre enantiomorfos levógiros y dextrógiros caracterizan el estado del espacio físico ocupado por los organismos vivos. Predominan bien los enantiomorfos levógiros, bien los dextrógiros.

B. *Los enantiomorfos levógiros y dextrógiros de los mismos compuestos químicos poseen las mismas propiedades químicas en los cuerpos inertes. Los cristales dextrorrotatorios y levorrotatorios formados en un medio inerte son los mismos.*

IV

A. Los nuevos cuerpos vivos naturales nacen únicamente a partir de los preexistentes. De vez en cuando, aparecen nuevas generaciones diferentes de las anteriores. El surgimiento del sistema nervioso central ha aumentado el papel geológico de la materia viva, especialmente desde finales del Plioceno.

B. *Los nuevos cuerpos inertes se crean en la biosfera con independencia de los cuerpos naturales previamente existentes. En general, los procesos inertes configuran el mismo tipo de cuerpos naturales que los que formaban hace dos mil millones de años. Los nuevos tipos de cuerpos inertes aparecen solamente por influencia de la materia viva, especialmente el hombre.*

V

A. No existen cuerpos vivos líquidos o gaseosos, si bien los líquidos y los gases se encuentran presentes en los cuerpos vivos mesomórficos o sólidos. Los cuerpos vivos se caracterizan por el movimiento espontáneo, autorregulado en gran medida. Lo anterior puede ser pasivo, como en la reproducción, pero el efecto de ésta consiste en la colonización de la biosfera a través de un proceso comparable a la expansión de un gas.

B. *Los cuerpos inertes líquidos y gaseosos adoptan la forma de los recipientes en los que están contenidos. Por regla general, los cuerpos inertes sólidos o mesomórficos no muestran movimiento alguno propio del cuerpo en su conjunto.*

VI

A. Existe una corriente continua de átomos que pasan de los organismos vivos a la biosfera, y viceversa. Dentro de los organismos, procesos no conocidos de otro modo en la biosfera produ-

cen un número inmenso y cambiante de moléculas.

B. *Los cuerpos naturales inertes cambian únicamente debido a causas externas, con la excepción de los materiales radioactivos.*

VII

A. El número de cuerpos vivos naturales se encuentra cuantitativamente relacionado con el tamaño de la biosfera.

B. *El número de cuerpos inertes naturales viene definido por las propiedades generales de la materia y la energía, y es independiente del tamaño del planeta.*

VIII

A. La masa de la materia viva ha permanecido relativamente constante, al estar determinada por la energía solar radiante y por la energía de colonización biogeoquímica, pero aparentemente la masa aumenta hacia un límite, no encontrándose todavía completo el proceso.

B. *El área en que los cuerpos inertes naturales se manifiestan en la biosfera se encuentra limitada por el tamaño de la última y solamente aumenta en la medida en que la biosfera se expande como consecuencia del movimiento de la materia viva.*

IX

A. El tamaño mínimo de un cuerpo vivo natural se encuentra determinado por la respiración, y es del orden de 10^{-6} cm. El tamaño máximo no ha superado nunca $n \cdot 10^4$. La amplitud, 10^{10} , no es grande.

B. *El tamaño mínimo de un cuerpo inerte natural en la biosfera está determinado por el grado de dispersión de la materia y la energía, es decir, por el tamaño de las últimas partículas físicas. El tamaño*

máximo viene dado por el de la biosfera. La amplitud es 10^{40} o superior.

X

A. La composición química de los cuerpos vivos es una función de sus propiedades.

B. La composición química de los cuerpos inertes es una función de las propiedades del medio en que se forman.

XI

A. El número de clases de compuestos químicos en los cuerpos vivos está relacionado con los tipos de organismos individuales y alcanza probablemente varios millones.

B. El número de clases diferentes de compuestos químicos en los cuerpos inertes se limita a unos pocos miles.

XII

A. Los procesos en la materia viva tienden a elevar la energía libre de la biosfera.

B. Todos los procesos inertes, salvo la desintegración radioactiva, reducen la energía libre de la biosfera.

XIII

A. Los cuerpos vivos naturales son siempre mesomórficos y, excepto en condiciones latentes en las que, como en el agua, predominan H y O, tienen una mezcla sumamente complicada de otros compuestos. La composición química de cualquier clase de materia viva, aunque no muestra relaciones estoico-

métricas, está definitivamente determinada y es más constante que las mezclas isomórficas que constituyen los minerales naturales.

B. La composición química de los cuerpos inertes naturales puede equivaler a la de compuestos químicos casi puros, con relaciones estoicométricas exactas entre los elementos. En los minerales, predominan las soluciones sólidas.

XIV

A. Las relaciones isotópicas pueden estar sensiblemente modificadas por los procesos en la materia viva.

B. Las relaciones isotópicas no varían de forma apreciable en los cuerpos inertes naturales de la biosfera, si bien tales cambios pueden tener lugar fuera de la biosfera, en la profundidad de la corteza terrestre.

XV

A. La inmensa mayoría de los cuerpos vivos naturales modifican sus formas a lo largo del proceso evolutivo. Sin embargo, las tasas a que tienen lugar tales cambios son muy divergentes.

B. La mayor parte de los cuerpos inertes de la biosfera son estables y, por tanto, carecen de variedad.

XVI

A. Los procesos de los cuerpos vivos naturales no son temporalmente reversibles.

B. Todos los procesos fisicoquímicos en los cuerpos inertes naturales son temporalmente reversibles.

En la vida cotidiana, es habitual hablar del hombre como individuo que vive y se mueve libremente sobre nuestro planeta y que construye libremente su historia. Hasta época muy reciente, los historiadores y los estudiosos de las humanidades —y, hasta cierto punto, incluso los biólogos— no eran conscientemente capaces de reconocer las leyes naturales de la biosfera, única envoltura terrestre en la que puede existir la vida. Funda-

mentalmente, no puede separarse de ella al hombre, y es solamente ahora cuando tal indisolubilidad se nos empieza a aparecer claramente y en términos precisos. El hombre se halla geológicamente ligado a su estructura material y energética. En realidad, no existe en la Tierra ningún organismo vivo en estado libre². Todos los organismos están ligados de forma indisoluble e ininterrumpida, a través sobre todo de la nutrición y la respiración, con el entorno material y energético ambiental. Fuera de aquí, no pueden existir en condiciones naturales.

En nuestro siglo, la biosfera ha adquirido un significado totalmente nuevo; ha demostrado ser un fenómeno planetario de carácter cósmico. En la biogeoquímica, hay que tener en cuenta el hecho de que los organismos vivos existen realmente no sólo en nuestro planeta y no exclusivamente en la biosfera terrestre. Me parece que hasta ahora tal cosa se ha demostrado sin duda alguna únicamente en el caso de los denominados «planetas terrestres», es decir, en el caso de Venus, la Tierra y Marte³.

La idea de la vida como fenómeno cósmico viene de muy antiguo, como se pone de manifiesto en los archivos científicos, incluyendo aquí la ciencia rusa. A finales del siglo XVII, el científico holandés Christian Huygens (1629-1895) planteó este problema en su última obra, *Cosmotheoros*, publicada póstumamente. Por iniciativa de Pedro el Grande, ese libro fue publicado dos veces en ruso en el primer cuarto del siglo XVIII, con el título *El Libro de la Contemplación del Mundo*⁴. En su obra, Huygens sentó la generalización científica de que «la vida es un fenómeno cósmico en

² Caspar Wolf (1733-1794), el notable científico, miembro de la Academia de Ciencias de San Petersburgo, quien, a pesar de no ser ruso de nacimiento, dedicó toda su vida a Rusia, expresó claramente la relación existente entre los organismos y su medio en un libro publicado en alemán en San Petersburgo, en 1789, el año de la gran Revolución Francesa, con el título *Von d. eigenthüml. Kraft d. Vegetabl. sowohl auch d. animal. Substanz als Erläuterung zu zwei Preisschriften über d. Nutritions-kraft* (Sobre la Fuerza Específica y Activa propia de la Sustancia Vegetal y Animal). A diferencia de la gran mayoría de los biólogos de su época, tendía hacia las ideas de Newton antes que hacia las de Descartes.

Hay que lamentar que hasta ahora no se hayan estudiado ni publicado los manuscritos descubiertos a la muerte de Wolf. En 1927, la Comisión sobre la Historia del Conocimiento de la Academia de Ciencias decidió llevar a cabo esta tarea, pero no pudo realizarse debido a los constantes cambios en el enfoque dado por la Academia al estudio de la historia de la ciencia. En la actualidad, esa tarea se ha reducido en la Academia a un mínimo, lo que es muy perjudicial para ese objetivo.

³ Véase mi artículo «The Geological Envelopes of the Earth as a Planet», *Izvestia of the Academy of Sciences, Geographical and Geophysical Series*, 1942, p. 251. Cf. H. SPENSER JONES, *Life on Other Worlds*, Nueva York, 1940; R. WILDT, en *Proc. Amer. Philos. Soc.* 81 (1939), p. 135. Una traducción rusa del trabajo de Wildt, por desgracia no completa (lo que no se indica en la misma) apareció en *Astronomicheskii Zhurnal*, vol. XVII (1940), n.º 5 pp. 81 y ss. En la actualidad, ha aparecido un nuevo trabajo de Wildt, *Geochemistry and the Atmosphere of Planets* (1941), pero, por desgracia, no nos ha llegado copia alguna.

En colaboración con el Instituto de Microbiología de la Academia de Ciencias de Moscú (miembro correspondiente, B. L. Isachenko), el Laboratorio Biogeoquímico de la misma Academia, rebautizado actualmente como Laboratorio de Problemas Geoquímicos, planteó ya en 1940 la cuestión de la vida cósmica como problema científico de actualidad. Este trabajo se vio detenido por la guerra, pero se reanuda en la primera oportunidad.

⁴ Esta obra se merecería una nueva edición en ruso moderno, con comentarios.

cierto modo claramente distinto de la materia inerte». Recientemente, he denominado a esa generalización «principio de Huygens»⁵.

En términos relativos, la materia viva constituye una parte insignificante de nuestro planeta. Es de suponer que tal cosa se ha cumplido a todo lo largo del tiempo geológico; en otras palabras, esa relación es *geológicamente eterna*⁶. La materia viva se encuentra concentrada en una delgada, aunque más o menos continua, capa de la superficie terrestre en la troposfera, en los bosques y campos, e impregna todo el océano. Se estima que su cantidad es del orden de 0,25% del peso de la biosfera. En la tierra firme, desciende bajo la superficie en acumulaciones discontinuas, probablemente hasta una profundidad media de menos de 3 kilómetros.

La Noosfera⁷

Nos estamos acercando al punto culminante de la Segunda Guerra Mundial. En Europa, la guerra se reanudó en 1939 tras una tregua de veintidós años; ha durado cinco años en Europa Occidental y se encuentra en su tercer año en nuestra zona, en Europa Oriental. En lo que respecta al Lejano Oriente, la guerra se reanudó mucho antes, en 1931, y se encuentra ya en su decimosegundo año. Una guerra de tal intensidad, duración y fuerza constituye un fenómeno sin parangón alguno en la historia de la humanidad y de la biosfera en general. Además, estuvo precedida por la Primera Guerra Mundial, que, aunque de menor intensidad, muestra una relación causal con la presente.

En nuestro país, la Primera Guerra Mundial dio como resultado una forma de estado nueva e históricamente sin precedente alguno, no sólo en el ámbito de la economía, sino probablemente también en el de las aspiraciones de las nacionalidades. Desde la perspectiva del naturalista (y creo que igualmente desde la del historiador), un fenómeno histórico de tal intensidad podría y tendría que ser examinado como parte de un único gran proceso *geológico* terrestre, y no meramente como proceso *histórico*.

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*. Fue en la atmósfera creada por esa guerra cuando me planteé una concepción de Naturaleza, idea olvidada en aquella época y,

⁵ Véase *Ocherki geokhimii*, pp. 9 y 288, y mi obra *Problemy biogeokhimii* (Problemas de Biogeoquímica), III (en prensa).

⁶ *Problemy biogeokhimii*, III.

⁷ La palabra «noosfera» se compone de los términos griegos νῶς (*noos*), inteligencia, y de *esfera*, empleado este último en el sentido de envoltura de la Tierra. Considero con más detalle el problema de la noosfera en mi obra, actualmente en prensa, sobre *La Estructura Química de la Biosfera de la Tierra como Planeta, y de su entorno*.

por tanto, nueva para mí mismo y para otros, una concepción geoquímica y biogeoquímica que abarca desde la misma perspectiva tanto la Naturaleza viva como la inerte⁸. Pasé los años de la Primera Guerra Mundial dedicado sin interrupción a mi labor científica creativa, actividad que he proseguido constantemente en la misma dirección.

Hace veintiocho años, en 1915, se constituyó en la Academia de Ciencias una «Comisión para el Estudio de las Fuerzas Productivas» de nuestro país, la llamada CEFP. Esa comisión, de la que fui elegido presidente, desempeñó un papel destacado en el período crítico de la Primera Guerra Mundial. En medio de la guerra, y de forma totalmente inesperada, la Academia de Ciencias constató que en la Rusia zarista no existían datos exactos de las actualmente denominadas materias primas estratégicas, y tuvo que reunir y compendiar rápidamente datos dispersos para poder cubrir las lagunas de nuestros conocimientos⁹. Por desgracia, en la época en que se inició la Segunda Guerra Mundial sólo se conservaba la parte más burocrática de esa comisión, el llamado Consejo de las Fuerzas Productivas, por lo que se hizo necesario restablecer a toda prisa las restantes secciones.

Al enfocar el estudio de los fenómenos geológicos desde una perspectiva geoquímica y biogeoquímica, podemos abarcar toda la Naturaleza ambiente en el mismo aspecto atómico. De modo inconsciente, semejante enfoque me parece coincidente con el que caracteriza a la ciencia del siglo XX y la distingue de la imperante en anteriores centurias. *El siglo XX es el siglo del atomismo científico*.

En aquella época, 1917-1918, y de modo completamente fortuito, me encontraba en Ucrania¹⁰, no regresando a Petrogrado hasta 1921. A lo largo de todos esos años, allí donde me hallara, mis pensamientos iban siempre dirigidos hacia las manifestaciones geoquímicas y biogeoquímicas en la Naturaleza ambiente, es decir, en la biosfera. Al mismo tiempo que las observaba, dirigía mis lecturas y mis reflexiones hacia esa cuestión de forma intensiva y sistemática. De forma gradual, según se iban configurando, fui exponiendo las conclusiones a las que llegaba en conferencias e informes presentados en las ciudades en que me encontraba, como Yalta, Poltava, Kiev, Sinferopol, Novorossiisk, Rostov, etc. Al mismo tiempo, en casi todas las ciudades en que estuve solía leer todo lo existente sobre el

⁸ Hay que resaltar aquí que en este contexto me encontré con los olvidados pensamientos de C. Schoenbein (1799-1868), original químico bávaro, y de su amigo, el genial físico inglés M. Faraday (1791-1867). Ya a comienzos de los años ochenta del pasado siglo, Schoenbein intentó demostrar que debería crearse una nueva sección de geología-geoquímica, como la llamaba. Véase V. VERNADSKY, *Ocherki geokhimii* (Estudios de Geoquímica), 4.ª edición, Moscú-Leningrado, 1934, pp. 14 y 290.

⁹ En lo que se refiere a la importancia de la CEFP, véase A. E. FERSMAN, *Voina i strategicheskoe syrie* (La Guerra y las Materias Primas Estratégicas), Krasnoufimsk, 1941, p. 48.

¹⁰ Véase mi artículo *Out of my Recollections: The First Year of the Ukrainian Academy of Sciences*, que va a aparecer en el volumen conmemorativo del vigésimoquinto aniversario de la Academia Ucraniana de Ciencias.

problema en su más amplio sentido. En la medida en que me fue posible, dejé de lado cualquier aspiración filosófica e intenté basarme únicamente en generalizaciones y hechos científicos y empíricos firmemente establecidos, permitiéndome en ocasiones recurrir por mí mismo a hipótesis de trabajo científicas. Así, en lugar del concepto de «vida», introduje el de «materia viva», que parece en la actualidad hallarse firmemente establecido en la ciencia. «Materia viva» es la totalidad de los organismos vivos, pero se trata de una generalización científica de carácter empírico de hechos empíricamente indiscutibles conocidos por todos y fácilmente observables con precisión. El concepto de «vida» excede siempre los límites del de «materia viva»; pertenece al reino de la filosofía, el folklore, la religión y las artes. Todo esto se encuentra excluido de la noción de «materia viva».

En el transcurso del tiempo geológico, la materia viva cambia morfológicamente de acuerdo con las leyes de la Naturaleza. Su historia se expresa como lenta modificación de las formas de los organismos vivos que genéticamente se encuentran conectados entre sí de forma ininterrumpida generación tras generación. Esa idea fue fermentando en la investigación científica a través de las diversas épocas hasta que, en 1859, logró una sólida base gracias a los grandes logros de Charles Darwin (1809-1882) y Wallace (1822-1913). Se encontraba encastrada en la doctrina de la evolución de las especies, del mundo vegetal y animal, incluido el hombre. El proceso evolutivo es solamente característico de la materia viva, no existiendo manifestación alguna de él en la materia inerte de nuestro planeta. En la era criptozoica, se formaron los mismos minerales y rocas que se forman en la actualidad¹¹; las únicas excepciones son los cuerpos naturales bioinertes relacionados de uno u otro modo con la materia viva¹².

El cambio en la estructura morfológica de la materia viva observado en el proceso evolutivo conduce inevitablemente a un cambio en su composición química¹³.

Mientras que la cantidad de materia viva es insignificante con respecto a la masa inerte y bioinerte de la biosfera, las rocas biogénicas constituyen una parte importante de su masa, y sobrepasan con mucho los límites de la biosfera. Sometidas a fenómenos de metamorfismo, se convierte, per-

¹¹ De acuerdo con algunos geólogos americanos modernos, como, por ejemplo, Charles Schuchert (SCHUCHERT Y DUNBAR, *A Textbook of Geology*, II, Nueva York, 1941, pp. 88 y ss.), llamo era criptozoica al período antiguamente denominado era azoica o arqueozoica. En la era criptozoica, la conservación morfológica de los restos orgánicos se reduce casi hasta la nada, pero la existencia de vida se pone de manifiesto en las rocas organogénicas, cuyo origen no suscita duda alguna.

¹² En lo que se refiere a los cuerpos bioinertes, véase V. I. VERNADSKY, *Problems of Biogeochemistry*, II, traduc. Conn. Acad. Arts Sci., vol. 35 (1944), pp. 493-494. Se trata, por ejemplo, de la tierra, el océano, la inmensa mayoría de las aguas terrestres, la troposfera, etc.

¹³ Este problema necesita con urgencia comprobación experimental, tarea que se ha emprendido por el Laboratorio de Problemas Geoquímicos en colaboración con el Instituto Paleontológico de la Academia de Ciencias, dentro de nuestro programa de trabajo para 1944.

dido todo rastro de vida, en la envoltura granítica, no formando ya parte de la biosfera. La envoltura granítica de la Tierra es la zona de antiguas biosferas¹⁴. En la obra de Lamarck, *Hydrogéologie* (1802), en la que se contienen ideas muy sobresalientes, la materia viva, tal como la entiendo, se revelaba como la creadora de las principales rocas de nuestro planeta. Lamarck nunca aceptó el descubrimiento de Lavoisier (1743-1794). Sin embargo, otro gran químico, J. B. Dumas (1800-1884), que era contemporáneo más joven de Lamarck, que sí aceptó el descubrimiento de Lavoisier y que estudió intensamente la química de la materia viva, se adhirió también durante mucho tiempo a la idea de la importancia cuantitativa de la materia viva en la estructura de las rocas de la biosfera.

J. D. Dana (1813-1895) y J. Le Conte (1823-1901), ambos jóvenes contemporáneos de Darwin y grandes geólogos americanos (y Dana también mineralogista y biólogo), expusieron, incluso antes de 1859, la generalización empírica de que *la evolución de la materia viva avanza en una dirección categórica*. A ese fenómeno lo llamó Dana «cefalización» y Le Conte «era psicozoica». Al igual que Darwin, Dana adoptó esta idea durante su viaje alrededor del mundo, viaje que inició en 1838, dos años después del regreso de Darwin a Londres, y que duró hasta 1842¹⁵.

La noción empírica de una dirección categórica del proceso evolutivo, sin intento alguno, empero, de fundamentarla teóricamente, se remonta incluso hasta el siglo XVIII. En efecto, Buffon (1707-1788) habló del «reino del hombre», en base a la importancia geológica del hombre, pero le era ajena la idea de evolución, idea que era asimismo ajena a Agassiz

¹⁴ Véase mi obra básica mencionada en la nota 7.

¹⁵ No se puede dejar de subrayar aquí que la expedición durante la que Dana llegó a sus conclusiones sobre la cefalización, los islotes coralinos, etc., se encontraba real e históricamente relacionada muy íntimamente con la exploración del Pacífico por parte de los navegantes rusos, en especial Krusenstern (1770-1846). Véase D. GILMAN, *The Life of J. D. Dana*, Nueva York, 1899. El capítulo de ese libro relativo a la expedición oceánica fue escrito por Le Conte. No he podido acceder a la obra de Le Conte, *Evolution* (1888). Su autobiografía se publicó en 1903: W. ARMES, ed., *The Auto Biography of Joseph Le Conte*. En lo que se refiere a su biografía y bibliografía, véase H. FAIRCHILD, en Bull. Geol. Soc. Amer. 26 (1915), p. 53. Fue el informe sobre los viajeros rusos, publicado en alemán en 1827, el que espoleó al abogado americano, John Reynolds, a insistir en la organización de una expedición oceánica científica americana semejante. Gracias a la insistencia de Reynolds, la expedición se llevó por último a cabo, pero sólo once años después, en 1838. Se trató de la expedición de Wilkes, que finalmente demostró la existencia del Océano Antártico.

En lo que respecta a Reynolds, véase el Índice en *Centenary Celebratio: Wilkes Exploring Expedition of the U. S. Navy, 1838-1842*, Proc. Amer. Philos. Soc., 82, n.º 5 (1940). Hay que lamentar que nuestras expediciones al Pacífico, tan activas en la primera mitad del siglo XIX, se suspendieran después durante largo tiempo (casi hasta la Revolución), como consecuencia de la muerte del Emperador Alejandro I (1777-1825) y del Conde N. P. Rumiantsov (1754-1826), este último notable líder de la cultura rusa, que equipó la expedición «Riurik» (1815-1818) con sus propios recursos.

En la época soviética, hay que mencionar la expedición de K. M. Deriugin (1878-1936); sus valiosísimos y científicamente importantes materiales sólo se han estudiado de forma parcial y siguen sin publicarse. Semejante actitud hacia una obra científica es inadmisible. El Museo Zoológico de la Academia de Ciencias debe llevar a cabo esta tarea científica y cívica.

(1807-1873), quien introdujo en la ciencia la idea de período glacial. Agassiz vivió en una época de impetuoso florecimiento de la geología. Admitió que desde el punto de vista geológico había llegado el reino del hombre, pero, debido a sus principios teológicos, se opuso a la teoría de la evolución. Le Conte señala que Dana, si bien en un principio mantenía puntos de vista cercanos al de Agassiz, en los últimos años de su vida aceptó la idea de la evolución en su habitual interpretación darwiniana¹⁶, con lo que desapareció así la diferencia existente entre la «era psicozoica» de Le Conte y la «cefalización» de Dana. Hay que lamentar que, especialmente en nuestro país, esa importante generalización empírica sigue estando fuera del horizonte contemplado por nuestros biólogos.

La solidez del principio de Dana, que parece encontrarse fuera del horizonte de nuestros paleontólogos, puede contrastarse fácilmente por todo aquel que desee hacerlo en base a cualquier tratado moderno de paleontología. El principio no solamente abarca la totalidad del reino animal, sino que también se pone claramente de manifiesto en tipos individuales de animales. Dana subrayó que, en el transcurso del tiempo geológico, durante al menos dos mil millones de años y probablemente mucho más, tiene lugar un proceso irregular de crecimiento y perfeccionamiento del sistema nervioso central, empezando por los crustáceos (cuyo estudio utilizó Dana para demostrar su principio), siguiendo por los moluscos (cefalópodos) y terminando por el hombre. A este fenómeno es al que denominó cefalización. Una vez que llega a cierto nivel en el proceso evolutivo, el cerebro no está sometido a retroceso alguno, sino que únicamente puede seguir progresando.

A partir del concepto del papel geológico del hombre, el geólogo A. P. Pavlov (1854-1929) solía hablar en los últimos años de su vida de la *era antropogénica* en la que vivimos hoy en día. Aunque no tuvo en cuenta la posibilidad de la destrucción de los valores espirituales y materiales a que asistimos actualmente con la bárbara invasión de los alemanes y sus aliados poco más de diez años tras su muerte, resaltó con razón que el hombre se está convirtiendo ante nuestros propios ojos en una fuerza geológica poderosa y en permanente crecimiento. Tal fuerza geológica se configuró casi imperceptiblemente a través de un largo período de tiempo, coincidiendo con ella un cambio en la posición del hombre sobre nuestro planeta (en especial, su posición material). En el siglo XX, el hombre, por vez primera en la historia de la Tierra, ha conocido y abarcado la biosfera en su totalidad, ha completado el mapa geográfico del planeta Tierra y ha colonizado toda su superficie. *La humanidad se ha convertido en una sola totalidad en la vida de la Tierra.* No hay lugar alguno en la Tierra en que el hombre no

¹⁶ D. Gilman, *op.cit.*, p. 255.

pueda vivir si así lo desea, como lo demuestra la estancia de nuestro pueblo en los hielos flotantes del Polo Norte en 1937-1938. Al mismo tiempo, gracias a las poderosas técnicas y a los éxitos del pensamiento científico, de la radio y la televisión, el hombre es capaz de dirigirse de forma instantánea a todo aquel a quien desee en cualquier punto de nuestro planeta. El transporte aéreo se realiza a una velocidad de varios cientos de kilómetros por hora, y todavía no ha alcanzado su límite máximo. Todo ello es el resultado de la «cefalización», del crecimiento del cerebro humano y del trabajo dirigido por ese cerebro.

El economista L. Brentano iluminó la importancia planetaria de este fenómeno con el siguiente cálculo sorprendente: si se asignase a cada hombre un metro cuadrado y si se colocase a todos los hombres uno junto a otro, no ocuparían ni siquiera el área del pequeño lago de Constanza, entre las fronteras de Baviera y Suiza, permaneciendo vacío de hombres el resto de la superficie terrestre. Así, toda la humanidad junta representa una masa insignificante en relación con la materia del planeta. Su fuerza se deriva no de su materia, sino de su cerebro. Si el hombre comprende todo esto y no usa su cerebro y su trabajo para autodestruirse, se abre delante de él un inmenso futuro en la historia geológica de la biosfera.

El proceso geológico evolutivo pone de manifiesto la unidad biológica y la igualdad de todos los hombres, del *Homo sapiens* y de sus antepasados, los *sinántropos* y otros; su progenie en la mezcla de razas blanca, roja, amarilla y negra evoluciona sin cesar a través de innumerables generaciones¹⁷. Se trata de una *ley de la Naturaleza*. En un determinado contexto histórico, como sucede por ejemplo en una guerra de la magnitud de la actual, gana en último término quien sigue esa ley. No puede hacerse frente impunemente al principio de la unidad de todos los hombres en su calidad de ley de la Naturaleza. Empleo aquí la expresión «ley de la Naturaleza» tal como se usa cada vez más en las ciencias físicas y químicas, en el sentido de una generalización empírica determinada con precisión.

El proceso histórico se ha modificado radicalmente ante nuestros propios ojos. Por vez primera en la historia de la humanidad, los intereses de las masas, por un lado, y el libre albedrío de los individuos, por otro, determinan el curso vital de la humanidad y proporcionan estándares para las ideas humanas de justicia. Tomada en su conjunto, la humanidad se está convirtiendo en una poderosa fuerza geológica. Se plantea entonces el

¹⁷ Mis contemporáneos y yo mismo hemos vivido de forma imperceptible un cambio drástico en la comprensión del mundo circundante. En la época de mi juventud, nos parecía que el hombre había vivido únicamente a través de un tiempo histórico, dentro de un período de unos pocos miles de años, como mucho unas decenas de miles de años. Ahora sabemos ya que el hombre ha existido de forma consciente a lo largo de decenas de millones de años. Ha existido conscientemente a través del período glacial, tanto en Eurasia como en América del Norte, a través de la formación del Himalaya Oriental, etc. Se ha eliminado así la división entre tiempo histórico y geológico.

problema de la *reconstrucción de la biosfera en interés de la humanidad libre-pensadora como totalidad*. Este nuevo estado de la biosfera, al que nos aproximamos sin darnos cuenta, es la *noosfera*.

En la conferencia que pronuncié en la Sorbona de París en 1922-23, reconocí los fenómenos geoquímicos como la base de la biosfera. El contenido de parte de esas conferencias se publicó en mi libro «Estudios de Geoquímica», obra que apareció primero en francés, en 1924, y después en traducción rusa, en 1927¹⁸. El matemático francés Le Roy, filósofo bergsonian, aceptó como punto de partida el fundamento biogeoquímico de la biosfera, y en sus conferencias pronunciadas en el Collège de France en París introdujo en 1927 el concepto de la noosfera como fase por la que se encuentra pasando actualmente la biosfera desde el punto de vista geológico¹⁹. Subrayó que había llegado a tal idea en colaboración con su amigo Teilhard de Chardin, gran geólogo y paleontólogo que actualmente está trabajando en China.

La noosfera constituye un nuevo fenómeno geológico en nuestro planeta. En él, y por vez primera, el hombre deviene una *fuera geológica de enorme magnitud*. Puede y debe reconstruir su campo vital por medio de su trabajo y de su inteligencia, debe reconstruirlo de forma radical en comparación con el pasado. Ante él se abren posibilidades creativas cada vez más amplias. Podría ser que la generación de nuestros nietos se acercase a la plenitud.

Ahora bien, aquí se nos plantea un nuevo enigma. *La inteligencia no es una forma de energía*. ¿Cómo puede modificar entonces los procesos materiales? Este problema no se ha resuelto todavía. Por lo que conozco, fue planteado por vez primera por un científico americano nacido en Lvov, el matemático y biofísico Alfred Lotka²⁰, pero fue incapaz de resolverlo. Como Goethe (1740-1832) —no solamente un gran poeta, sino también un gran científico— lo subrayó apropiadamente en una ocasión, en la ciencia únicamente podemos saber *cómo* ocurrió algo, mas no podemos saber *por qué* sucedió.

Por lo que se refiere al advenimiento de la noosfera, vemos en torno a nosotros y en cada una de las etapas los resultados empíricos de ese proceso «incomprensible». Así, por ejemplo, esa rareza minerológica

¹⁸ La última edición revisada de mis *Ocherki Geokhimii* (Problemas de Geoquímica) apareció en 1934. En 1926, vio la luz la edición rusa de *Biosfera* (La Biosfera), y en 1929 la edición francesa. Mis *Biogeoquímicheskie Ocherki* (Estudios de Biogeoquímica) se publicaron en 1940. La edición de *Problemy Biogeoquimii* (Problemas de Biogeoquímica) se inició en 1940 (Una traducción resumida al inglés de la Parte II apareció, editada por G. E. Hutchinson, en *Trans. Conn. Acad. Arts Sci.*, vol. 35, 1944). La Parte III se encuentra en imprenta. *Ocherki geokhimii* se ha traducido al alemán y al japonés.

¹⁹ Las conferencias de Le Roy han sido publicadas solamente en francés: *L'exigence idéaliste et le fait d'évolution*, París, 1927, p. 196.

²⁰ A. LOTKA, *Elements of Physical Biology*, Baltimore, 1925, pp. 405 y s.

que es el hierro nativo se produce actualmente por miles de millones de toneladas. El aluminio nativo, que nunca existió antes en nuestro planeta, se produce ahora en cualquier cantidad que se desee. Lo mismo es cierto en lo que se refiere a las innumerables combinaciones químicas artificiales (minerales «culturales» biogénicos) recientemente creadas en nuestro planeta. El número de tales minerales artificiales se encuentra en constante crecimiento. Se incluyen aquí todas las *materias primas estratégicas*. Desde el punto de vista químico, la faz de nuestro planeta, la biosfera, está siendo profundamente transformada por el hombre, tanto de forma consciente como, aun en mayor medida, inconscientemente. La envoltura aérea de la tierra y todas sus aguas naturales están siendo modificadas por el hombre física y químicamente. En el siglo XX, y como resultado del crecimiento de la civilización humana, los mares y las partes de los océanos más cercanas a la tierra firme se han ido transformando de forma cada vez más notoria. Como resultado de todo ello, el hombre debe tomar más y más medidas con el fin de preservar para las generaciones futuras la riqueza de los mares, hasta ahora sin pertenencia a nadie. Junto a ello, el hombre ha ido creando nuevas especies y razas de animales y plantas. Parece que será posible realizar en el futuro los bellos sueños contenidos en los cuentos: el hombre está intentando traspasar los límites de este planeta para entrar en el espacio cósmico, y probablemente lo logrará.

En este momento no podemos permitirnos pasar por alto el hecho de que, en la gran tragedia histórica en que nos encontramos, hemos escogido de forma primaria la senda correcta que lleva a la noosfera. Digo de forma correcta, en la medida en que toda la historia de la humanidad va en esta dirección. Los historiadores y los líderes políticos no hacen sino comenzar a aproximarse a tener cierta comprensión de los fenómenos de la Naturaleza desde este punto de vista. En este sentido, es muy interesante el enfoque del problema que muestra Winston Churchill (1932), desde su perspectiva de historiador y dirigente político²¹.

La noosfera es la última de las muchas etapas habidas en la evolución de la biosfera en la historia geológica. El curso seguido por esa evolución sólo empieza a ser evidente gracias al estudio de algunos de los aspectos del pasado geológico de la biosfera. Voy a permitirme citar unos pocos ejemplos. Hace quinientos millones de años, en la era geológica cámbrica, aparecieron por vez primera en la biosfera formaciones de esqueletos de animales, ricas en calcio; las correspondientes a las plantas aparecieron más de dos mil millones de años antes. Ese fundamento de calcio de la materia viva, totalmente desarrollado en la actualidad, fue uno de los más impor-

²¹ W. S. CHURCHILL, *Amid These Storms: Thoughts and Adventures*, Nueva York, 1932, pp. 274 y ss. Tengo la intención de volver a tratar este problema en otra ocasión.

tantes factores evolutivos dentro del cambio geológico de la biosfera²². Otro cambio de no menor importancia en la biosfera tuvo lugar hace entre setenta y ciento diez millones de años, en la época del sistema cretácico, y especialmente durante la era terciaria. Fue en esta época cuando se formaron por vez primera los bosques a los que tanto valoramos. Se trata de otro gran estadio evolutivo, análogo al de la noosfera. Probablemente fue en estos bosques en los que apareció el hombre, aproximadamente hace quince o veinte millones de años.

Ahora vivimos en el período de un nuevo cambio geológico evolutivo en la biosfera. Nos encontramos entrando en la noosfera. Este nuevo proceso geológico fundamental se está desarrollando a un ritmo impetuoso, y en una época de una guerra mundial destructiva, pero el hecho importante es que nuestros ideales democráticos estén sintonizados con los procesos geológicos fundamentales, con las leyes de la Naturaleza y con la noosfera. De ese modo, podremos encarar el futuro con confianza. Está en nuestras manos. No podemos dejarlo escapar.

²² En la segunda parte de mi obra *The Chemical Structure of the Biosphere* (véase la nota 7), considero el problema de las funciones biogeoquímicas de los diferentes organismos.



1. *Los principios de la economía ecológica*
Joan Martínez Alier (ed.)
2. *Economía de los recursos naturales: un enfoque institucional*
Federico Aguilera Klink (ed.)
3. *La Ley de la Entropía y el proceso económico*
Nicholas Georgescu-Roegen
4. *La fertilización en los sistemas agrarios. Una perspectiva histórica*
Ramón Garrabou y José Manuel Naredo (eds.)
5. *Principios de bioeconomía*
René Passet
6. *Sistemas de producción e incidencia ambiental del cultivo en suelo
enarenado y en sustratos*
J. López-Gálvez y J. M. Naredo
7. *Economía del agua en España*
Varios autores
8. *La gestión del agua de riego*
J. López-Gálvez y J. M. Naredo (eds.)
9. *La Biosfera*
V. I. Vernadsky



1. *Mecenazgo y conservación del patrimonio artístico:
reflexiones sobre el caso español*
Varios autores
 2. *Palacios Reales en España.
Historia y arquitectura de la magnificencia*
Varios autores
 3. *Arte y Música en el Museo del Prado*
A. Benito, T. Fernández y M. Pascual
- En preparación
- Pintura española de vanguardia (1950-1990)*
Varios autores



1. *Hacia una estrategia española de competitividad*
Álvaro Espina Montero
2. *La economía española en un escenario abierto*
Varios autores
3. *El empleo en España y Europa.*
Un análisis comparado por sectores
Centro de Estudios Económicos Fundación Tomillo
4. *Las cuentas de la educación en España*
y sus comunidades autónomas: 1980-1992
Varios autores
5. *Ética y empresa: una visión multidisciplinar*
Varios autores
6. *Rentabilidad de la ética para la empresa*
A. Cortina (dir.), Á. Castiñeira, J. Conill, A. Domingo,
D. García, F. Lozano y J. M. Lozano



1. *Desigualdad y clases sociales.*
Un seminario en torno a Erik O. Wright
Varios autores
2. *Pensar la igualdad y la diferencia. Una reflexión filosófica*
Manuel-Reyes Mate (ed.)
3. *Las desigualdades en España. Síntesis estadística*
Varios autores
4. *Perspectivas teóricas y comparadas de la igualdad*
Varios autores
5. *Pobreza, necesidad y discriminación*
Varios autores
6. *La desigualdad de recursos*
Varios autores
7. *Las políticas redistributivas*
Varios autores
8. *Dilemas del Estado de Bienestar*
Varios autores
9. *Reformas sanitarias y equidad*
Varios autores

En preparación

Educación, vivienda e igualdad de oportunidades
Varios autores