

Cuerpos vivos y no vivos de la biosfera

por Vladimir I. Vernadsky

La siguiente es la sección inicial de un artículo que Vernadsky escribió en 1938. El título completo es “Problemas de biogeoquímica, II: Sobre la distinción energético-material esencial entre cuerpos naturales vivos y no vivos de la biosfera”. Las partes II y III del artículo, también ya las publicó Resumen ejecutivo en su edición de la segunda quincena de junio de 2001 (vol. 18, núm. 11).

I. Conceptos básicos

Materia viva, la biosfera como envoltura del planeta. Su nuevo estado geológico: la noosfera. Cuerpos naturales y los fenómenos naturales de la biosfera: inertes, vivos y bioinertes. Su sistema: el aparato científico. Mano izquierda y mano derecha en la materia viva como manifestación del estado del espacio que ocupa. La energía libre de la biosfera como manifestación de la energía biogeoquímica de la materia viva en la biosfera.

1. En mi trabajo biogeoquímico, que he seguido de manera sistemática y sin interrupción desde comienzos de 1916, recientemente he sentado conclusiones que apuntan a la distinción profunda e insalvable —de carácter energético-material— entre los fenómenos de la vida y todos los otros procesos que ocurren en la biosfera, distinción que, por un lado, puede expresarse con precisión cuantitativa, pero que, por el otro, exige nuevo trabajo matemático en el dominio de la geometría. Manifiesto ante nosotros, se encuentra un nuevo campo del estudio de los fenómenos de la vida, que descubre nuevas facetas de estos fenómenos y nuevas posibilidades para el trabajo científico. Por tanto, considero útil llamar la atención a estos conceptos, en vez de esperar a que termine de reelaborar mi trabajo de biogeoquímica.

2. Los fundamentos de la biogeoquímica se forman a partir de unos cuantos conceptos básicos que *no contienen hipótesis alguna*, sino que son conceptos científicos precisos y claros —generalizaciones empíricas científicas de la experiencia y observación del naturalista—. Sobre todo, el concepto mismo *de la materia viva de la biosfera* representa semejante generalización empírica científica, que es tan indisputable como un hecho correcta y científicamente establecido. *La materia viva de la biosfera es el agregado de todos sus*

organismos vivos.

En lo sucesivo, habré de utilizar, en vez del concepto de “vida”, el concepto de “*materia viva*” en el sentido indicado.

Desde el punto de vista de la biosfera, el organismo vivo individual por lo común se pierde de vista; en primer lugar, aparece el agregado de organismos: la materia viva. En la biogeoquímica, sin embargo, en algunos casos estrictamente definidos, es a veces necesario prestar atención al organismo discreto, a su individualidad. Es indispensable hacer esto en los casos en que la actividad del Hombre aparece como un factor geológico, como lo vemos suceder ahora, y la personalidad individual a veces se torna intensamente manifiesta, y se refleja en los fenómenos de gran escala y carácter planetario. La personalidad humana cambia, acelera y provoca procesos geológicos de enorme importancia, a causa de su presencia en la biosfera.

Vivimos en una época geológica brillante y totalmente nueva. El Hombre, por medio de su trabajo —y su relación conciente con la vida— transforma la envoltura de la Tierra, la región geológica de la vida, la biosfera. El Hombre la lleva a un nuevo estado geológico: a través de su trabajo y su conciencia, la biosfera está en proceso de transición a la *noosfera*.¹ El Hombre crea hoy día procesos biogeoquímicos que nunca antes habían existido. La historia biogeoquímica de los elementos químicos —un fenómeno planetario— cambia drásticamente. Se crean en la Tierra enormes masas de metales libres (como el aluminio, el magnesio y el calcio) y sus aleaciones, que nunca antes existieron aquí. Se cambia y altera la vida vegetal y animal de la manera más drástica. Se crean nuevas especies y razas. La faz de la Tierra cambia profundamente. Se está creando la fase de la noosfera. Dentro de la biosfera de la Tierra, un intenso florecimiento está en marcha, cuya historia posterior, nos parece, será grandiosa.

En este proceso geológico —que es fundamentalmente biogeoquímico— una sola unidad individual de materia viva, de entre la totalidad de la humanidad —una gran personalidad, sea un científico, un inventor o un estadista— puede ser de fundamental y decisiva importancia conductora, y puede manifestarse ella misma como una *fuerza geológica*. *Este tipo de manifestación de la individualidad en procesos de enorme importancia biogeoquímica es un nuevo fenómeno planetario. Surgió, y comenzó a manifestarse con agudeza y profundidad cada vez mayores en el curso del tiempo, en las más recientes decenas de miles de años, con el trasfondo de los miles de millones de años de la historia previa de la biosfera, cuando este fenómeno no existía.*

En los procesos biogeoquímicos —fuera de los límites de estos fenómenos— la totalidad de los seres vivos —la materia viva— sigue desempeñando el papel básico. Se caracteriza como la totalidad de todos los organismos, matemáticamente expresada como la totalidad de organismos vivos *promedio*.

1. Le Roy, E. *L'exigence idéaliste et le fait d'évolution*, París, 1927, pág. 196.

La biogeoquímica estudia, sobre todo, la manifestación de la totalidad, no de la unidad indivisible promedio. En la mayoría de las otras ciencias biológicas, estudiamos principalmente la unidad indivisible promedio; y en las ciencias de la medicina y la cría de animales, la unidad indivisible, la individualidad, o la personalidad única, ha sido de notable importancia en los últimos milenios.

Morfológicamente, la materia viva se manifiesta en la biogeoquímica como una especie, un género, una raza, etc. Distinguimos *materia viva homogénea* —perteneciente a un género, una especie, etc— y *materia viva heterogénea*, como el bosque, la estepa o una comunidad biótica en general, que se compone de formas homogéneas de materia viva, en ciertas proporciones.² La conveniencia de esta aproximación a los fenómenos de la vida descansa en el hecho de que no nos extraviamos, en nuestros juicios y concepciones, al vacilante dominio de las hipótesis y las interpretaciones filosóficas acerca de la vida, como las que dominan el pensamiento en la biología. No nos apartamos del dominio de los hechos científicos y las generalizaciones científicas empíricas; pisamos su firme terreno.

3. Junto al concepto de materia viva, planteamos otras dos generalizaciones empíricas: el concepto del *medio* de la vida, como la *biosfera*; y el concepto de *cuerpo natural vivo*. La materia viva se encuentra en nuestro planeta únicamente en la *biosfera*, que es el dominio de la vida.

Esta caracterización define los límites de la biosfera con absoluta precisión. Conforme a esta definición, toda la *troposfera* de la atmósfera pertenece a la biosfera. Y ahora, los organismos vivos —los seres humanos y sus inevitables compañeros: los insectos, las plantas y los microorganismos— penetran aún más alto, por sí mismos o con asistencia mecánica, en la *estratosfera*. Al mismo tiempo, la humanidad civilizada (junto con sus inevitables compañeros vivos) penetra varios kilómetros por debajo de la superficie de la Tierra, muy por debajo de los límites del terreno superficial que está en contacto con la troposfera. Hoy día, también reconocemos la importancia planetaria del descubrimiento que se hiciera a fines del siglo pasado, de que la vida —principalmente materia viva anaeróbica, microbiana— puede encontrarse en regiones subterráneas de más de tres kilómetros de profundidad y probablemente más hondas. El límite inferior de la biosfera yace, pues, varios kilómetros por debajo de la superficie del geoide.³ El océano entero del mundo pertenece a la biosfera.

La biosfera constituye una *envoltura geológica* definida, nítidamente diferenciada de todas las demás envolturas geoló-

gicas de nuestro planeta.⁴ Esto es así, no sólo porque la biosfera está poblada de materia viva que tiene enorme importancia como una fuerza geológica que reelabora por completo la biosfera y transforma sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. Además, ésta es la única envoltura del planeta penetrado de manera estimable por la energía cósmica, que la transforma aún más que la materia viva. La principal fuente de esta energía es el Sol. La energía del Sol —energía térmica, luminosa y química [es decir, ultravioleta]— es, junto con la energía de los elementos químicos, la fuente primaria para la creación de materia viva.

La materia viva se extiende por la biosfera y, en gran medida, la crea. La materia viva acumula la energía de la biosfera, principalmente la energía térmica y química de la radiación solar, y la energía química de los átomos de la Tierra. Es posible que la energía radioactiva desempeñe cierto papel en esto.⁵

4. Material y energéticamente, la materia que forma la biosfera es agudamente heterogénea. Desde este punto de vista, debemos distinguir el volumen principal de su materia, que no pertenece a la materia viva, y que llamaré *inerte*, materia no viva. La mayor parte de ésta, por lo que hace a su peso, se compone de rocas sólidas. Pero el mayor volumen pertenece a cuerpos líquidos y gaseosos: el océano y la atmósfera. Aquí se encuentra —aquí vive— la totalidad de los organismos vivos del planeta, su materia viva.

Entre la materia viva y la inerte de la biosfera, existe un solo y continuo vínculo material y energético, que se mantiene ininterrumpido durante los procesos de respiración, alimentación y reproducción de la materia viva, y que es necesario para su conservación: *la migración biogénica de átomos* de los elementos químicos, de los cuerpos inertes de la biosfera hacia los cuerpos naturales vivos, y de vuelta. Esto aparece en la forma de *movimiento*: la partida y llegada de compuestos químicos específicos de los organismos vivos y a ellos, como parte de los procesos de alimentación, respiración, excreción y reproducción, característicos de la materia viva. Estos procesos definen la *energía biogeoquímica* de la materia viva, la principal manifestación de la cual es la multiplicación de la materia viva.

Todas estas manifestaciones de migración biogénica y energía biogeoquímica, son determinadas por las dimensiones, la composición química y la energía de la biosfera. Por esta razón, no puede existir ningún tipo arbitrario de organismo en la biosfera, sino únicamente aquellos organismos estrictamente determinados por la estructura de la biosfera. *El organismo vivo y la materia viva son una función prescrita*

2. Vernadskii, V. *Biosfera*, Leningrado, 1926. Vernadskii, V., *Tr. Biogeojim. labor.* [Trabajos del laboratorio biogeoquímico]. 1. Leningrado, 1930. Vernadsky, V. *La biosphère*, París, 1930. Vernadskii, V. *Biogeojimicheskie ocherki*. Moscú, 1939 (en proceso de publicación [nota de Vernadsky]).

3. Vernadskii, V. *O predelaj biosfery. Izvestia AN SSSR. Seriya geol.* [Acerca de los límites de la biosfera. Noticias de la Academia de Ciencias de la URSS. Serie de Geología], 1937.

4. Vernadskii, V. *Biosfera*. Leningrado, 1926; *Ocherki geojimii* [Apuntes de geoquímica]. 2a edición, Leningrado, 1934 (publicado primero en francés, en 1924, como *La géochimie*); *Problemy biogeojimii. I.* [Problemas de biogeoquímica, I.] 2a edición, Leningrado, 1934.

5. Vernadskii, V. *Ocherki geojimii* [Apuntes de geoquímica]. Leningrado, 1934; *Biogeojimicheskie ocherki* [Apuntes biogeoquímicos]. Moscú, 1939 (en proceso de publicación).

de la biosfera. La gente a menudo olvida esto. Y de manera errónea —especialmente en el discurso filosófico, pero también en la biología— contraponen el organismo vivo a su ambiente, como si fuesen éstos dos objetos independientes. Este tipo de contraposición es un error lógico. Es especialmente evidente en la filosofía, y *socava la esencia de un gran número de sus conclusiones*. No me detendré aquí a considerar más abundantemente este punto.

5. No menos importante es el concepto de un *cuerpo natural*. Resulta bastante extraño que este concepto básico, que en esencia empapa toda la ciencia natural, se pase comúnmente por alto y no se sujete a un análisis lógico serio. Y, aun así, los científicos emplean el concepto, casi inconcientemente, a cada paso de su trabajo.

En mi juventud, tuve una experiencia clara y conciente de su importancia. Mi maestro V. V. Dokuchayev, en su creativo trabajo sobre la ciencia del suelo, propuso la idea de que el suelo es un *cuerpo natural especial*, diferente de otras rocas. Como es bien conocido, probó esta tesis, e hizo posible así que sus contemporáneos aprehendieran, por medio de este notable ejemplo de una síntesis exitosa, las bases del trabajo creativo en la ciencia natural.⁶

Pero semejantes sucesos son raros en la historia de la ciencia y en la vida científica corriente. Normalmente, los debates no abordan los supuestos fundamentales del conocimiento científico. La gente no habla de estos supuestos; se olvida de ellos.

Reflexionando al respecto, es fácil convencerse de que *toda ciencia natural está basada en el concepto de un cuerpo natural, o un fenómeno natural*. En nuestra discusión ulterior, trataremos solamente de la biosfera, y consideraremos fenómenos que conciernen a la materia viva.

Los científicos estudian en la biosfera sólo aquellos objetos creados en ella por fuerzas que ocurren dentro de la misma, o fenómenos producidos en ella por esas fuerzas. Los objetos con los que tratan, se pueden denominar convenientemente cuerpos naturales de la biosfera, y los fenómenos, *sus fenómenos naturales*. La tarea de la ciencia es enumerar, describir e identificar todos los cuerpos naturales y todos los fenómenos naturales que existen o han existido en la biosfera. Este es el trabajo de generaciones de científicos, y hay miles de millones de millones de hechos científicos y generalizaciones científicas —es decir, cuerpos naturales y fenómenos naturales— por aprehender de manera científica, por contar y sistematizar. Estos forman la base de la ciencia; a partir de ellos, se construyen generalizaciones científicas que se pueden llevar de vuelta a los cuerpos y fenómenos naturales.

Este trabajo resulta en la creación del contenido básico de la ciencia, para el cual, extrañamente, aún no hay ninguna expresión generalmente aceptada. Tuve que nombrarlo, y,

quizás, sea conveniente llamarlo, *el aparato científico*.⁷ Este aparato empezó a crearse en la astronomía miles de años antes de Cristo, y se entendió —llegó hasta nosotros— en la forma de información numérica sobre las posiciones del Sol, las estrellas y los planetas en los compendios helenísticos (Hiparco, Tolomeo). Este trabajo fue revivido en Asia Central durante la Edad Media. Por todas partes, se hizo en las crónicas en la forma de registros precisos de cometas, bolas de fuego, meteoritos, etc. A partir del siglo 16, hubo una rápida acumulación de información, cuya evaluación fue la base para hacer las primeras generalizaciones importantes. Pero aun en la astronomía, el progreso básico, que ha sido continuo y rápido desde entonces, comenzó en gran escala apenas en el siglo 18. En ese siglo —el siglo de la *ciencia natural descriptiva*— el esfuerzo por enumerar, observar y describir precisamente cada cuerpo natural, y de registrar cada fenómeno natural, se volvió una tarea conciente de la ciencia natural exacta.

Apoiado en el trabajo de naturalistas anteriores, Linneo (1707–1778) introdujo el concepto del sistema de la Naturaleza, y por primera vez, calculó el número de especies de animales y plantas —las especies de formas homogéneas de materia viva— que habitan la biosfera. En 1758, conocía un total de 4.162 especies de animales (para 1768, el número era 5.936), y en 1768, 7.788 especies de plantas. En total, para 1768, Linneo distinguió 13.724 especies de organismo vivos, y menos de rocas y minerales. Hoy día, el número de especies de plantas se aproxima a las 200.000, y posiblemente exceda las 300.000. El número de especies de animales se acerca a las 800.000; en realidad, probablemente sean varios millones, y quizá lleguen a los 10 millones. En esencia, el “sistema de la Naturaleza”, entendido en un sentido amplio, corresponde a lo que llamo el aparato científico.

La colosal cantidad de información numérica que corresponde a propiedades químicas y físicas de la materia —y que crece como una bola de nieve, siempre en aumento con el transcurso del tiempo, obtenida principalmente por medio de la *experimentación científica*, más bien que a partir de la observación de la biosfera, y creada primero en la biosfera por el trabajo científico, que excede varias veces la cantidad de cuerpos naturales vivos y materia viva, y no tiene límites—, en mi opinión, hace lógicamente confuso, inconveniente y prácticamente inútil llamar a esa información sistema de la Naturaleza. Por consiguiente, el concepto de *aparato científico*, que podemos apreciar sólo porque ha sido reducido a un sistema científico, es más sencillo. Incluye tanto al sistema de la Naturaleza como al aparato científico de las humanidades, que es abarcable por un sistema científico, aunque

7. Tengo que introducir una *nueva palabra* para este viejo concepto, aun cuando la enorme importancia que abarca el concepto está clara para todos, por la exclusiva importancia del trabajo en el aparato científico, tanto desde el punto de vista del tiempo como del trabajo empleado en él por investigadores científicos. Esta es una consecuencia de vestigios del pasado, de una época en el que trabajar en la filosofía —correcto en ese entonces— se consideraba más fundamental que el trabajo científico.

6. Vernadskii, V. *Ocherki i Rechi* [Apuntes y discursos]. Praga, 1922, pág. 77. *Problemy biogeoimii. I.* [Problemas de biogeoquímica, I.] Leningrado, 1934.

completamente impregnado por la individualidad.

6. Cada objeto de la ciencia natural es un cuerpo natural o un fenómeno natural creado por procesos de la Naturaleza. Hasta el momento, muchos trillones de cuerpos y fenómenos naturales, si no es que más, se han recogido científicamente, enumerado y científicamente definido en el sistema del aparato científico. El número de cuerpos y fenómenos crece continuamente, y el sistema del aparato científico también se perfecciona continuamente. Gracias a esto, nos vemos enfrentados, cada vez más agudamente, a una cantidad infinita de hechos científicos por examinar. El contenido básico de la ciencia se localiza en ellos. Reelaborados por medio de la generalización científica, las hipótesis científicas provisionales y las teorías, y abrazados por la deducción y el análisis matemáticos, se convierten en *verdad científica*, cuya precisión y profundidad crece *con cada generación*.

Esto es lo que distingue la ciencia exacta de la filosofía, la religión y el arte, donde *no hay un aparato científico*, y donde la verdad científica, en ocasiones descubierta por creatividad intuitiva, puede reconocerse como tal sólo cuando ha sido científicamente validada. Esta intuición creativa a veces viene mucho antes que su comprensión científica, y es en estos dominios de la creatividad humana donde se ocultan las verdades científicas del futuro, las cuales son oscuras para los contemporáneos. Pero no podemos entenderlas con precisión sin la ciencia, sin cimentarlas en el aparato científico.

7. Es posible distinguir tres tipos de cuerpos naturales en la biosfera: cuerpos *vivos* (por ejemplo, una planta, un escarabajo, etc), *cuerpos inertes* (por ejemplo, una piedra, un trozo de cuarzo, etc) y cuerpos *bioinertes* (como el suelo, el agua de los lagos, etc).

La biosfera se compone de dominios nítidamente delimitados, formados por cuerpos vivos, inertes y bioinertes: aguas, materia viva, rocas, aire, etc. Una transición de los cuerpos vivos a los cuerpos inertes toma lugar cuando aquéllos mueren; cuando un cuerpo vivo deja de existir como tal, se transforma en roca organogénica (por ejemplo, en biolitos) y cuerpos inertes, como los gases.⁸ Los biolitos a menudo son cuerpos bioinertes. La generación directa de un organismo vivo a partir de cuerpos inertes, nunca se observa: el principio de F. Redi (toda vida viene de la vida) [*omne vivum ex vivo*], nunca se viola.⁹

El concepto cuerpos naturales inertes (muertos) y vivos, en tanto objetos naturales claramente distintos, es una noción antigua y común, inculcada por milenios de historia, un concepto de “sentido común”. No puede provocar ninguna duda, siendo claro e inteligible para todos.

En el trabajo científico, ya por siglos, sólo pueden encontrarse unos cuantos casos en los que hubo dudas sobre si un objeto natural específico se debía considerar un ser vivo o un

cuerpo inerte, si ese fenómeno natural dado era una manifestación de lo vivo o de lo no vivo. Un caso dudoso de ese tipo —tal vez el más profundo— es la cuestión de los virus.¹⁰

Otros casos pueden ser las cuestiones que J. C. Bose sacó a colación en Calcuta, acerca de si *la vida* no se manifiesta tanto en la materia viva como en la inerte, pero en grados diferentes. Estos son, sin embargo, problemas filosóficos que Bose trató de resolver utilizando el método científico, tal como G. T. Fechner planteó el asunto, menos precisamente, en términos filosóficos, antes, en Europa, en el siglo 19. En este caso, la cuestión de la materia viva de la biogeoquímica no está involucrada, ya que en la biogeoquímica la materia viva es la totalidad de los organismos vivos, mientras que Fechner y Bose intentaban escudriñar la substancia energético-material común al cuerpo vivo y al inerte.

8. El concepto de **cuerpo natural bioinerte** es un concepto nuevo, definido en términos biogeoquímicos exactos y diferente de los conceptos de cuerpos naturales vivos e inertes. Los cuerpos naturales de este tipo se expresan claramente en la biosfera y tienen un gran papel en cómo se organiza ésta.¹¹ Los cuerpos bioinertes son característicos de la biosfera. Son estructuras ordenadas que consisten en cuerpos inertes y vivos simultáneamente (por ejemplo, los suelos), cuyas propiedades físico-químicas tienen que ajustarse todas —a veces con correcciones muy grandes— si, al estudiarlas, la actividad de la materia viva localizada dentro de ellas no se toma en cuenta.

La migración biogénica de elementos químicos (átomos) desempeña un gran papel en sus propiedades, muy a menudo el papel dominante.

Cualquier suelo es un cuerpo bioinerte típico. V. V. Dokuchayev ya había reconocido esto claramente.

La abrumadora mayoría de las *aguas terrestres* son cuerpos bioinertes. Sólo hay casos aislados en los que la materia viva no desempeña un papel fundamental en ellas. No ocurre, por ejemplo, en las calientes aguas volcánicas, ricas en ácidos sulfúrico y clorhídrico, ni en el caso de aguas extremadamente salinas. Sin embargo, aun en el Mar Muerto hay materia viva microbiana, aunque no desempeña un papel decisivo. El agua de lluvia está libre de materia viva en sus primeros momentos. Todas las aguas de los océanos y mares, de los ríos y lagos, así como sus *fondos*, son cuerpos bioinertes. El equilibrio gaseoso, la composición química y los sedimentos de todas esas aguas —su química— están determinados básicamente por la materia viva.

El papel de los cuerpos naturales bioinertes es extraordinario, y aún no se ha tomado apropiadamente en cuenta en cómo se organiza la biosfera.

El proceso de *la erosión de las rocas* es un proceso bio-

8. Samoilov, Ia. *Biolity* [Biolitos]. Moscú, 1929.

9. Sobre el principio de Redi, véase Vernadskii, V. *Ocherki geojimii* [Apuntes de geoquímica], 4a edición, Leningrado, 1934, pág. 209.

10. Respecto a los virus, aún no está claro si se trata de una nueva forma de organismo (“proteína viva”) o de una proteína que contiene las esporas de organismos minúsculos. Se cree que *las proteínas no pueden purificarse de estas esporas por medio de la cristalización*.

11. Vernadskii, V. *Problemy biogeoimii* [Problemas de biogeoquímica]. Leningrado, 1935. Vol. 1., 8 f.

nerter, cosa que por lo general no se tiene en consideración. Esta circunstancia, creo, explica el atraso de esta área de la geología química (la erosión de la corteza terrestre) en relación al nivel del conocimiento contemporáneo. La perspectiva biogeoquímica debe contribuir en mucho a la solución de este problema.

9. Hasta ahora, no he pasado de los conceptos materia viva, la biosfera, cuerpos naturales y fenómenos naturales (inertes, vivos y bioinertes), conceptos basados en el enorme material empírico preciso de la experiencia y la observación. Estos conceptos no pueden despertar ninguna duda teórica ni requieren que se comprenda ninguna nueva hipótesis científica o construcción teórica científica. Uno puede serenamente proceder con el trabajo, tan fructífero para la ciencia, de sistematizar los hechos científicos acumulados, y generalizar a partir de ellos.

Pero, para comprender las cuestiones que siguen ahora, necesariamente debo tocar dos nuevos fenómenos de gran importancia, cuya investigación científica no se puede llevar a cabo sobre la base de la mera generalización de hechos científicos, sino que requiere de introducir nuevos conceptos y de encontrar una nueva forma de comprensión de los hechos. Ambos fenómenos se comprenden con demasiada pobreza desde el punto de vista teórico, y su importancia científica no se ha apreciado. Ahora están en la frontera del conocimiento científico contemporáneo. Estos son, primero, el concepto de *mano derecha y mano izquierda*, y, segundo, el concepto de *energía biogeoquímica*.

Mano derecha y mano izquierda son conceptos cotidianos, que existen desde los primeros tiempos, y que difícilmente se ha comprendido de manera científica y filosófica. Fue Luis Pasteur el primero que prestó atención a su importancia capital para comprender los fenómenos de la vida: el organismo vivo o la materia viva. De forma independiente de Pasteur, y un poco antes, Bechamps se dio cuenta de esto, pero Pasteur percibió la cuestión más profundamente, e identificó dentro de ella fenómenos que nos permiten penetrar de una manera científica precisa en este inmenso dominio de problemas, cuyo completo significado Pasteur mismo no pudo prever.

Yo introduje el concepto de energía biogeoquímica en 1925, en mi informe a la Fundación Rosenthal de París, el cual nunca se publicó completo. En mi libro, trato esta cuestión al extremo posible actualmente. Examinemos primero la cuestión de la mano derecha y la mano izquierda en su relación con la materia viva y con la biosfera.

10. No necesitamos tratar aquí del profundo naturalista y experimentador A. Bechamps, contemporáneo mayor de Pasteur, su enemigo y rival, quien sobrevivió a Pasteur por muchos años, pero fue incapaz de obtener las condiciones necesarias para el trabajo sistemático. Partió exactamente del mismo hecho que Pasteur: el descubrimiento, realizado a comienzos del siglo 19 en una pequeña empresa de Alsacia, de la transformación del ácido racémico [ópticamente inactivo] o sus sales, en ácido levotartárico durante la formación de

moho del vino. Sobre esta base, se halló una nueva forma de producir ácido levotartárico. Pasteur y Bechamps —ambos profundos químicos— vieron en esta acción química del moho como materia viva una notable propiedad exclusiva de la vida —la materia viva—; algo no comprendido, inusual, desconocido y aparentemente imposible en reacciones químicas ordinarias. El reflexionar en esto y tomar nota de ello —ver el problema involucrado— ya era un gran logro, pero sólo el primer paso. Era necesario investigar el fenómeno, y expresarlo en hechos científicos específicos.

Las circunstancias de la vida de Bechamps no se lo permitieron. Pero Pasteur conectó el nuevo fenómeno con una propiedad muy especial de los cristales enantiomorfos, que distingue —bajo la influencia de la materia viva— a los ácidos y sales racémicos. Como resultado de esta acción, se producía un isómero —tan sólo el dextrógiro o el levógiro, pero no el otro, que quizás era consumido por el organismo—. Pasteur vio en esto, con toda razón, una violación drástica de la ley de simetría cristalina. Esta violación aparecía en el hecho de que las formas dextrógira y levógira manifiestan grados completamente diferentes de estabilidad en la materia viva, y exhibiendo una conducta química *muy lejos de ser idéntica*, algo nunca observado en ellas en los cuerpos naturales inertes. Evidentemente, esto último no podía ocurrir.

Pasteur le llamó a este fenómeno *disimetría*, pero ni lo ligó con el ordenamiento normal de las estructuras morfológicas y fisiológicas de la materia viva a mano derecha o a mano izquierda, ni aquel fenómeno le hizo prestar atención a este hecho. Estudió el fenómeno como cristalógrafo y como químico, pero no como biólogo. Pasteur mismo no ofrece una definición más precisa de la disimetría, y no consideró los cambios que habían ocurrido en la cristalografía cuando regresó a estos problemas en los últimos años de su vida.

Mucho más importante fue el descubrimiento de Pasteur de la *disimetría molecular*, completamente análoga a la disimetría de los cristales poliédricos. Inició con ello toda una nueva ciencia: la estereoquímica. Gracias a eso, la química se enriqueció con el concepto de *asimetría* (es decir, la ausencia de simetría en la configuración espacial *en las cercanías* de un átomo de carbono). Este término se utiliza simultáneamente en la química y en la física en sentidos completamente diferentes, lo que genera confusión.

11. El enredo que surgió estorbó el trabajo. La disimetría molecular, descubierta por Pasteur, mostró que la presencia de materia viva se refleja en la fórmula química, aun en soluciones, y que *las estructuras atómicas de mano derecha y las de mano izquierda* resultan no equivalentes en las reacciones químicas. *Son químicamente distintas en la materia viva, pero químicamente idénticas en medios químicos inertes*. Pasteur no sabía que (como se descubrió después de su muerte) éste era esencialmente el mismo fenómeno que él mismo había descubierto en los cristales. Porque en los cristales tenía una distribución espacial de ordenamientos espirales derechos e izquierdos de *átomos*, análoga a la estructura atómica de las

moléculas. Esta conclusión surgió de una manera precisa, de la noción de *espacio cristalino* —hablando en lenguaje contemporáneo— construido geoméricamente por Ye. S. Fiodorov y A. Schoenflies a fines del siglo pasado. En la coincidencia de los 230 grupos que identificó (en realidad son 219), con los ordenamientos de átomos en el espacio cristalino, Ye. S. Fiodorov vio una prueba de la construcción atómica de los compuestos químicos. Finalmente, esto se demostró experimentalmente en el siglo 20 por medio del análisis de cristales con rayos X. Los contemporáneos de Pasteur —Seeber, Ampère y Godin— habían previsto esto, pero Pasteur permaneció al margen de la influencia de sus ideas.

Después de Pasteur, P. Curie generalizó el concepto de disimetría, considerando como un caso especial el fenómeno descubierto por Pasteur en los organismos vivos, y aplicando el concepto de disimetría a los fenómenos físicos en general —campos eléctricos y magnéticos, etc.— como un postulado fundamental de la física. Pero Curie no pudo completar el desarrollo de sus ideas; su trabajo fue interrumpido en pleno desenvolvimiento, por su súbita muerte. No quedó ninguna presentación coherente en sus documentos de los resultados que obtuvo. Sólo debe advertirse que Curie demostró la existencia de diferentes formas de “disimetría”, y lógicamente concluyó que un fenómeno, conectado con cualquier forma dada de disimetría, debe tener una causa que tenga la misma forma de disimetría. Es conveniente llamar a esta conclusión el *principio de P. Curie*.

En vista de este estado de cosas, creo que sería más correcto dejar a un lado el concepto y la palabra “disimetría”, y en cambio emplear la idea más vieja y generalmente familiar de la distinción entre mano derecha y mano izquierda en los organismos, que es tan agudamente manifiesta en el Hombre. Pero dado que existe una teoría (errónea, me parece) de que el uso dominante de la mano derecha en el Hombre surge apenas en el Neolítico, la forma correcta de proceder será sustituir mano derecha y mano izquierda con el concepto más general, que Curie empleó antes de su muerte, de *estados distintos del espacio*. No alcanzó él a elaborar, antes de morir, una presentación formal de este concepto, pero esencialmente corresponde, por supuesto, a las diferentes formas de disimetría, sobre la que trabajaban Curie y Pasteur.

Este concepto era ampliamente conocido entre los naturalistas en el dominio de la ciencia natural descriptiva, y tiene sus raíces muy atrás, en el siglo 18. Aquí el asunto era a menudo el estado variable del espacio en nuestro planeta, en relación con su movimiento orbital alrededor del Sol; que ciertos movimientos y fenómenos eran diferentes, dependiendo de si tenían lugar en una parte del planeta que se movía en dirección al Sol, o en la dirección opuesta. Pasteur reconoció la posibilidad de *estados diferentes* del espacio cósmico, por medio de los cuales explicó su descubrimiento de que la materia viva presenta disimetría. Ciertamente, debemos ver en el estado del espacio, el *substrato geométrico* básico de todas sus manifestaciones materiales, temporales y energéticas.

En el caso presente, habrá un estado del espacio en el que la orientación a la derecha y a la izquierda, expresadas como estructuras espirales derechas o izquierdas de átomos, sean químicamente idénticas en los cuerpos inertes y distintas en los vivos. A ésta, una de las más profundas propiedades geométricas de los cuerpos naturales, se le ha dado insuficiente atención en la filosofía, las matemáticas y en la ciencia natural. Pero todos estamos muy familiarizados con ella en la vida diaria. La conocemos desde la niñez, dado que un ser humano es un cuerpo vivo, en el que la derecha y la izquierda se distinguen nítidamente una de la otra (aun desde el punto de vista químico). Por ejemplo, una persona de cada 16.000 [sic] es zurda. En tiempos recientes, estos fenómenos han comenzado a llamar más la atención en la biología, pero, a mi juicio, de manera aún insuficiente.

Los matemáticos —especialmente los geómetras— ya no pueden seguir pasando esto por alto, sino que necesitan explicar este *fenómeno geométrico* fundamental.

Regresaré a la cuestión del estado del espacio, en general, y en relación con su manifestación particular en la no equivalencia de derecha e izquierda, en mi siguiente estudio sobre los problemas de la biogeoquímica. Aquí no puedo adentrarme más en ello. Me parece que es conveniente hablar, en este contexto, del espacio físico, como propuso Helmholtz.

12. Todavía es necesario discutir otro fenómeno que difícilmente se ha comprendido en las generalizaciones científicas: la energía activa de la materia viva en la biosfera. R. Mayer, hace casi cien años, tomó en consideración esta manifestación de la materia viva. Mostró que en los minerales organogénicos —en depósitos de carbón— tenemos un acumulador de energía libre, capturada en esta forma por la materia viva del Carbonífero, y que utilizamos los rayos solares fosilizados de esa época. Pero la idea en una forma general —la creación y acumulación de *energía libre en la biosfera por la materia viva* y por los procesos naturales propios de la materia viva— brotó en la mente de muchos a mediados del siglo 19, cuando se elaboró el concepto mismo de energía.

Ahora quiero señalar esto más concretamente: no como la cuestión básica de los energéticos del planeta, sino como un problema biogeoquímico. En 1925, denominé *energía biogeoquímica* a la energía libre que ofrece la materia viva en la biosfera, que esencialmente viene a ser el trabajo inherente al movimiento de los átomos, y que se manifiesta en los movimientos de la materia viva (ver Sección 15, V). Dado que la energía biogeoquímica distingue tajantemente la materia viva de la materia inerte, es indispensable mencionar aquí sus características básicas.

13. La energía biogeoquímica de la materia viva está estrechamente vinculada a tres características fundamentales de la materia viva en la biosfera: primero, con *la unidad de toda la materia viva en la biosfera*; segundo, con la generación continua, por parte de la materia viva en la biosfera, de *energía libre, capaz de realizar trabajo*; y tercero, con *la colonización de la biosfera por la materia viva*.

En los tres casos, la manifestación de energía biogeoquímica es diferente; *tomada en su totalidad, la energía biogeoquímica es no homogénea*. A fin de cuentas, está ligada al movimiento de la materia viva en la biosfera, con desplazamientos pasivos o activos (en relación a la materia viva), va unida a la movilidad de las masas de materia viva en la biosfera, y es finalmente reducible al movimiento de átomos o elementos químicos.

Por lo que he dicho, está claro que la energía biogeoquímica no es alguna forma especial de energía perteneciente a la vida; no es la *energía vital* que buscaba W. Ostwald, análoga a la energía térmica, química, luminosa, eléctrica, etc. No afecta la ley de la conservación de la energía, pero aparece en ese contexto como *formas ya conocidas de energía*.

Ahora podemos investigar las verdaderas fuentes de la energía biogeoquímica con precisión. Son, a fin de cuentas, la energía radiante del Sol (luminosa, calorífica, química), y la energía de los elementos químicos de los que están constituidos los cuerpos de la materia viva (energía química y térmica). Probablemente exista una contribución de los elementos radioactivos.

Un cálculo cuantitativo exacto del efecto calórico en los procesos vivos, establece, creo yo, sin sombra de duda, que tal es su origen. Es, esencialmente, un resultado de la organización de la biosfera y la organización de la materia viva que habita la biosfera.

No puedo adentrarme más en este tema aquí. Sólo mencionaré las principales formas de manifestación de esa organización. La más importante es *la energía biogeoquímica, ligadas a la colonización del planeta*. Intenté calcularla en la forma de una *velocidad máxima definida de la transmisión de vida de la especie*, para cada especie de materia viva (la definición tal vez infructuosa que le di anteriormente); esto es, *la velocidad de colonización del planeta entero por un organismo determinado*. Esta es energía ligada a la reproducción de organismos vivos. Cada forma de materia viva puede, de esta forma, propagarse por todo el planeta y, dentro de cierto lapso, que es diferente para cada forma de materia viva, teóricamente colonizar el planeta entero. En los casos más rápidos, para las bacterias, este proceso de colonización puede ocurrir en de uno a uno y medio días, mientras que al elefante —uno de los organismos que se reproducen más lentamente— le tomaría de 1.000 a 1.100 años. En la colonización total, la materia viva cubriría la superficie entera del planeta, es decir, llenaría todas sus líneas y áreas realmente existentes. Una de estas líneas curvas, la línea del Ecuador terrestre, es decir, la línea (curva) terrestre precisamente definida de máxima longitud, se puede tomar como un criterio único de comparación, común a todas las formas de materia viva.

Cuando hablo aquí de la colonización del planeta, supongo que este proceso de colonización ocurre en condiciones tales que le permitirían proceder normalmente en el futuro, si no fuera por falta de espacio, de superficie qué colonizar. La velocidad de colonización, expresada como una magnitud

V , puede fluctuar dentro de límites que van de cerca de la velocidad del sonido en el aire, más de 33.000 centímetros por segundo (para algunas bacterias), a centésimas de centímetro por segundo (para el elefante).

En otras palabras, hablamos de la colonización duradera del planeta a largo plazo por un organismo en sus condiciones normales de vida, en las que puede existir por generaciones; y no de *explosiones* de vida, en las que el exceso de organismos nacidos muere por la escasez de alimentos o espacio para vivir.

Estos conceptos no entran aún en la conciencia de la ciencia. Estoy convencido de que su utilización es una cuestión para el futuro. Debe notarse que la velocidad del sonido corresponde a la condición real en que la composición normal del medio atmosférico en el que vive el organismo —incluso en el caso de organismos acuáticos (las aguas naturales tienen su propia atmósfera subacuática)— no se destruye. Esto muestra que la energía biogeoquímica, así expresada, casi ha alcanzado sus límites físicos. Las velocidades de este modo obtenidas deben ser comparadas cuantitativamente entre sí; puede afirmarse, por ejemplo, que la velocidad de colonización del elefante es 10^7 veces menor que la de las bacterias.

Pero la energía biogeoquímica de colonización no subsume todas las manifestaciones de esa energía. Mencionaré dos más de sus formas aquí.

Primero, la creación de *una masa de materia viva y su sustento*, por medio del proceso metabólico, *a un valor constante* durante la existencia del organismo.

Y segundo, la enorme forma nueva de energía biogeoquímica constituida en la biosfera por el proceso técnico de *trabajo de la raza humana*, dirigido de una forma compleja por el pensamiento humano: la conciencia. Es notable que el crecimiento de las máquinas dentro de la estructura de la sociedad humana también procede en progresión geométrica en el curso del tiempo, tal como la proliferación de cualquier materia viva, incluidos los seres humanos.

Estas manifestaciones de energía biogeoquímica no han sido científicamente investigadas en lo absoluto.

Es imperativo dirigir el trabajo científico a estas áreas de la biogeoquímica, no sólo a causa de su gran importancia teórica, sino también, me parece, con una visión hacia su cierta importancia para las tareas del Estado. En la biogeoquímica, es necesario hacer una aproximación deliberada a los procesos espontáneos de transformación de la biosfera en la noosfera, que tiene lugar en la actualidad.

Para esto, la tarea suprema es reunir hechos y estudiar los problemas relacionados con la energía biogeoquímica. No tengo duda de que esto se hará tarde o temprano. Espero regresar a ello en mi libro.

La característica distintiva básica de la energía biogeoquímica queda clara y poderosamente demostrada en el aumento de la energía libre de la biosfera en el curso del tiempo geológico, y es evidente de manera especialmente drástica en la transición de la biosfera a la noosfera, que es ya manifiesta.