

desintegración causarían un doble efecto; por una parte, escindir, en mayor o menor grado, tales moléculas en fragmentos demasiado pequeños para coordinarse de nuevo en el retículo, y por otra parte, desorganizar a su alrededor una porción mayor o menor del retículo.

En tercero y último lugar, en este magma y su medio se producirían fenómenos de catálisis. Cuanto mayores hayan sido la cantidad y eficacia de los catalizadores tanto mayor habrá sido la velocidad de desintegración global del material reticulable. Ni que decir tiene que los fenómenos de catálisis se producen normalmente en medio inorgánico y que, con regularidad, se darían antes, y con independencia, de las estructuras vivientes.

Objetividad exigible a la interpretación evolutiva del magma primigenio. La desintegración oxidativa, acción determinante de la primera fase evolutiva.

Antes de pasar adelante, precisemos, en nuestro problema particular, el rigor que debe exigirse a toda interpretación de un proceso evolutivo. Nuestra tarea ha de ser precisar en lo posible la serie de fases evolutivas que condujeron desde el retículo primigenio, definido por las tres características descritas, hasta la estructura viviente actual definida por sus características más generales. Pues bien: el rigor de la argumentación científica exige, en primer lugar, interpretar esta evolución en términos

de lo que evoluciona; hemos de esforzarnos en entender, hasta donde nos sea posible, el proceso evolutivo siempre como resultado de las fuerzas dominantes en lo que evoluciona (de la naturaleza íntima de ello considerado en su relación con el medio). Con frecuencia no se cumple, inconscientemente, esta exigencia del rigor científico.

Para aclarar con un ejemplo lo anterior, aseveremos que apenas cabe dudar de que en el magma primigenio que hemos definido se darían en seguida catalizadores ligados al retículo; dicho de otro modo, el retículo en determinados puntos o zonas hubo de poseer, de inmediato, una mayor o menor acción catalítica, ya que el retículo supone una estructura (una fase) cuyas superficies y anfractuosidades habrían de beneficiar para la acción catalítica (catálisis heterogénea, acciones de superficie) el aumento de concentración y el calor de adsorción de los productos reaccionantes. Un examen superficial podría incurrir en el supuesto de que el aumento de catalizadores ligados a esta estructura reticular habría de disminuir la probabilidad de que ésta alcance la disposición apta para las funciones vitales. Como, obviamente, la consecuencia primera o directa del aumento de catalizadores no puede ser sino acelerar la desintegración de la masa reticulada y reticulable, se tiende a postular que el magma primigenio dió origen a la vida en un ambiente más inerte químicamente que el nuestro, con el propósito explícito de dar tiempo a que en dicho magma antes de su desaparición pudiera darse, por un acto o serie de actos, el remotísimo azar de que lo inerte cuaje en algún punto suyo una estructura viviente por sencilla que sea.

A este recurso pueden hacerse dos objeciones.

Para puntualizar la primera apoyémonos en la siguiente abstracción: comparemos el destino que tendría una determinada cantidad del magma que nos ocupa, supuesta siempre en el mismo medio material y energético, en un caso sin catalizadores y en otro con catalizadores abundantes. En uno y otro caso, al magma reticulable (de no encontrar la solución de la vida) se le ofrece un período de transformaciones internas que comienza en el momento en que posee la masa considerada y que termina en el de su desintegración total en moléculas ya no reticulables. Es cierto, naturalmente, que este período en el primer caso será mucho más largo que en el segundo; pero también es fácil ver que la probabilidad de que se dé una determinada disposición molecular es la misma en uno y otro caso, puesto que en ambos ha de sucederse una misma serie de acontecimientos químicos, la que lleva desde un mismo producto inicial endotérmico a un mismo estado final de equilibrios entre sustancias sin energía química potencial. En definitiva, los catalizadores acortan el período necesario para que se juegue la probabilidad presunta, pero la cuantía de ésta es independiente de ellos y del tiempo y parece función muy directa de la cantidad e índole de las sustancias del retículo y de su medio; en dos palabras, de la naturaleza íntima de lo que va a evolucionar.

Pero, es más; en segundo lugar, situar la evolución hacia lo viviente en un medio de escasa desintegración constituye una falta gravísima contra las leyes generales de los procesos evolutivos que aparta de la solución buscada que sin este extravío resulta evidente. Un proceso evolutivo sólo puede verificarse por el juego contrapuesto de los ele-

mentos internos de lo que evoluciona: las leyes de la dinamia interior, que definen toda forma de realidad, es lo que condicionará estadísticamente el devenir de ella. Pues bien, la única fuerza canalizable entre el magma primigenio y su medio radicaba en la energía química potencial de las moléculas de aquél (endotérmicas); por tanto, la energía de desintegración ha debido ser el motor mismo de la evolución hacia lo viviente. Prescindir de esta fuerza significa, pues, desvincular la evolución de la índole de lo que evoluciona; sustituir una explicación científica (apoyada en el conocimiento ganado de lo real) por una justificación metafísica que, en la opinión que criticamos, consiste en los ensayos que una fuerza desconocida efectúa, al azar, sobre una estructura supuesta inerte para todo, salvo para dicha fuerza, y con un propósito incongruente con la inercia de tal estructura.

En nuestra opinión, el proceso evolutivo sólo pudo verificarse del modo opuesto. La vida no surgió de un rarísimo azar, sino de un proceso continuo, prolongado y dirigido al que cooperó integradamente toda la masa del magma primigenio; las propiedades físicas y químicas que definen estadísticamente el retículo irían cambiando cuantitativamente en función del tiempo en cada fase del proceso evolutivo, cuya dirección estaba, pues, virtualmente implícita en las características del magma; el que del proceso evolutivo surgiera la vida dependió, ante todo, de que en él interviniera suficiente cantidad de magma; y la índole particular de éste en sus comienzos (que hoy no podemos precisar) es lo que ha condicionado lo peculiar de la estructura y del sustrato material de la vida (en sus diversas formas) en nuestro planeta; vida que, sin duda, es la

mejor en el sentido de ser la de máximas posibilidades evolutivas de las que en su seno guardara el magma primitivo (si no, necesariamente, la mejor de todas las vidas posibles).

Pero hay más; por razones que luego se darán, el motor inicial de la evolución del magma no pudo ser sino la energía química potencial que guardaban sus moléculas. Hay que enfrentarse, pues, con la exigencia evolutiva de que la desintegración constituyera precisamente la fuerza inicial de la integración. Resolver el problema del origen de la vida equivale a desentrañar cómo la energía de desintegración encontró la vía para crear un mecanismo, cada vez más perfecto, que se opusiera de más en más a sus resultados, hasta neutralizarlos primero y luego irlos superando. Y nótese que la paradoja de que la desintegración creara su opuesto se completa con la recíproca, ya que sólo la integración, creando material desintegrable, alimenta de hecho, en su homeostasis actual con ella, la desintegración.

Leyes particulares de la evolución biológica: producirse por selección natural. La capacidad de propagarse (la herencia simple), primera ventaja selectiva que operó sobre las estructuras reticulares.

Pasemos ahora a inducir cuál pudo ser el proceso evolutivo por el que la energía que se liberaba en la demolición de una estructura capaz de contrarrestar, cada vez más perfectamente, los efectos

de esta demolición. Esto es, tratemos de inducir cómo se verificó el tránsito desde el retículo primigenio de las características físicas y químicas descritas hasta la estructura general de la célula con sus características biológicas.

Digamos, en primer lugar, que hay buenas razones para admitir que este proceso debió conducirse por selección natural. La ley de selección natural enunciada por Darwin y Wallace hace ahora un siglo—después de haber resistido embates circunstanciales de opinión de los que ha salido precisada y enriquecida—está firmemente entronizada en la biología actual. Ahora bien, la ley de selección natural se refiere a la evolución de las especies; es, pues, una ley particular y hay que justificar su elevación a ley general de la evolución de lo viviente. Un esquema de argumentación puede ser el siguiente:

Pienso que Darwin y Wallace llegaron a la noción de que las especies naturales evolucionan por selección natural de este modo: estando de antemano convencidos de que las especies evolucionan y proceden unas de otras, observaron la selección actuando en casos particulares (conducida por el hombre, en la evolución de las razas de animales domésticos) y ello les llevó a inducir que todas las especies han evolucionado y evolucionan por selección natural de los individuos más aptos. Pero la ley una vez enunciada aparece colmada de verdad interior; da una definición de las especies naturales tan profunda (evolutiva como toda definición que alcance a la naturaleza íntima de lo definido) y tan objetiva (tan conforme con lo que ella misma descubre en su objeto) que, como verdad necesaria, se nos impone que tiene que estar conducida por selec-

ción natural la evolución de entes de cualquier naturaleza siempre que (como los individuos de las especies naturales) cumplan dos condiciones: 1) concurrir unos con otros en un ámbito incapaz de acoger la libre multiplicación de todos ellos, y 2) reproducir por réplicas imperfectas, esto es, dando lugar a variaciones—también reproducibles—con distinta aptitud para pervivir y reproducirse en el medio.

Por consiguiente, para que sea legítimo ampliar el campo de aplicación de la selección natural de modo que se extienda no sólo a la evolución de las especies, sino a las fases evolutivas ancestrales por las que se originó la célula, es condición necesaria —y creo que suficiente—demostrar que el sustrato en evolución en estas fases poseía también ambas cualidades. (Ni qué decir tiene que las mismas condiciones exige toda ampliación del campo de aplicación de la evolución por selección natural.)

Veamos, pues, si se cumplen ya estas condiciones en el magma orgánico primigenio. En favor de que se da en él la primera condición habla el hecho, ya expuesto, de que el medio en que ha evolucionado y se sostiene la vida posea un nivel energético tal que tienda a desintegrar las moléculas químicas, que constituyen los seres vivos. (Desde un principio, pues, la evolución de lo viviente parece ofrecérsenos como un proceso particular que avanza, por decirlo así, a contracorriente de la pendiente evolutiva del ámbito general en que la vida evoluciona.) Pero, además, admitir que el magma primigenio evolucionó por selección natural implica que la primera cualidad que evolucionó perfeccionándose hubo de ser la transmisibilidad de las estructuras. En efecto, para que sobre un sustrato cualquiera operen ventajas

selectivas este sustrato ha de poseer dos cualidades; una, cierta plasticidad que engendre variaciones que puedan establecer gradientes de selectividad; otra, la tendencia a no perder (por y para la dinámica general) una variación estructural una vez formada. La lógica de las cosas pide, pues, que el retículo primigenio poseyera de antemano estas cualidades, que en el curso del proceso evolutivo—apoyándose en su juego mutuo—irían perfeccionándose. No es difícil ver que ambas son consecuencias directas de la complejidad del retículo, complejidad que ya inicialmente era de otro orden que en estructuras no carbonadas y que está vinculada a la capacidad de formar cadenas propia del carbono.

En efecto, por la facultad del átomo de carbono de constituir moléculas en cadena de longitud y formas variables, a la materia orgánica de que se formó el retículo primigenio se le ofrecían numerosas posibilidades de ordenar en el espacio sus moléculas; cada una creaba a su alrededor una pauta de coordinación espacial de otras moléculas; condicionaba la selección de las moléculas que podían enlazarse a ellas por valencias residuales y una determinada gama de modos posibles de enlazarse. Esta propiedad de condicionar un orden estérico la comparten numerosas estructuras inorgánicas. Ahora bien, la evolución hacia la vida tuvo que iniciarse por competencia exclusivamente entre aquellos tipos de ordenación reticular cuyo alcance coordinador sobrepasara a la velocidad normal de la propia destrucción; esto es, en tal competición sólo participarían de modo operante las pautas de ordenación que, cuando se conformara con arreglo a ellas una porción de retículo, al desorganizarse esta porción solieran restar de ella fragmentos con tal pauta de

ordenación, capaces de propágarla por ulterior coordinación de moléculas reticulables. La posesión en mayor grado de esa facultad de herencia simple supuso, sin duda, ventaja selectiva; pero es más, constituyó necesariamente la ventaja selectiva que primero operó, puesto que ninguna ventaja, ni real ni potencial, que presente un individuo biológico, actúa evolutivamente sin que sea hereditaria. El proceso evolutivo que culminó en la vida que conocemos hubo, pues, de comenzar por la disputa de la masa del retículo por aquellas ordenaciones posibles de éste, cuya nueva aparición favoreciera la propia propagación; no cabe duda de que, en esta rivalidad en la conquista de la masa reticular por mera "heredabilidad", prevalecerían las pautas de ordenación estérica con mejor balance entre velocidad de propagación y de destrucción. Supondrían, pues, ventaja selectiva para las estructuras reticulares cualidades como: convenir bien con la naturaleza del material reticulable disperso; la capacidad de crecer por yuxtaposición con un pequeño gradiente de alteración; de corregir o compensar este gradiente por periodicidad; la elevada capacidad de moldear hacia sí moléculas incorporadas (de orientar, según la pauta propia de orden formal, transformaciones o síntesis moleculares); la aptitud de integrarse, en una masa reticular única, con otras porciones de retículo y de influir sobre éstas forzándolas hacia el propio orden formal; la estabilidad de los enlaces del retículo; la resistencia intrínseca de sus moléculas a la desintegración oxidativa o de otro tipo; etc.

Evidentemente, la selección natural entre estructuras con capacidad de propagarse, según sus caracteres favorables a esta propagación, habrá cons-

tituido una primera fase de evolución hacia la vida. Esta fase no debe considerarse meramente como un proceso en cuyo curso terminan conquistando la hegemonía del magma orgánico primigenio las estructuras iniciales de éste, con mayor capacidad de propagación. Sumado a ello, como efecto recíproco de esta emulación inicial, evolucionaría a su vez la naturaleza del material reticulable disperso; éste, por una parte, evolucionaría por selección, ya que las moléculas que convinieran mejor con las estructuras de mayor poder de propagación gozarían, con mayor frecuencia que las restantes, de la protección que el retículo mismo ofreciera frente a la desintegración oxidativa; por otra parte, el retículo mismo conformaría, según el patrón de la propia estructura, en mayor o menor grado, el material reticulable disperso y, en definitiva, la evolución de este material en sentido favorable a las ordenaciones formales del retículo que poseen mayor capacidad de propagación repercutiría, a su vez, sobre la evolución del retículo, permitiendo a éste adoptar estructuras con una capacidad de propagación de un grado mucho más alto que el de las estructuras que iniciaron la concurrencia evolutiva.

Consideremos ahora el cambio que, por esta primera fase evolutiva, experimentaría el retículo orgánico primigenio. Por una parte, las estructuras que se propaguen mejor por él conquistarían la hegemonía uniformándolo. Por otra parte, estas ordenaciones estéricas hegemónicas, precisamente por la ventaja selectiva que las ha impuesto, tendrían la máxima capacidad de conformar hacia la propia pauta muy diversas disposiciones formales del retículo uniformado y de integrar material reticulable disperso. Es decir, el retículo en esta primera

fase evolutiva ganará la doble propiedad, aparentemente contradictoria y en realidad complementaria, de ser sumamente moldeable y a la vez sumamente uniforme y fijo en su variación constante. Naturalmente, en el curso de esta evolución se iría reduciendo continuamente (si bien posiblemente con velocidad decreciente) la cantidad total de material orgánico.

Deseo hacer hincapié en un hecho que concuerda satisfactoriamente con nuestro concepto evolutivo de que las estructuras de un determinado nivel de complejidad se mantienen en el seno de estructuras ulteriores más complejas. En efecto, las propiedades inducidas para el protoplasma primigenio coinciden con las propiedades deducidas por nosotros mismos (por una vía totalmente independiente basándonos en estudios sobre inmunidad) para el citoplasma actual. El hecho señala que el citoplasma es la estructura de menor complejidad (más antigua) dentro de lo viviente. Así se explican evolutivamente los tres importantes hechos siguientes: *a)* la esencial unidad que presentan todas las proteínas de todas las células de todos los seres vivos (que se pone de manifiesto en su composición química e incluso en la superponibilidad estérica de todos los aminoácidos); *b)* su tendencia a trascender sus pautas estructurales por el citoplasma a que pertenecen (hecho en que radica uno de los fenómenos básicos de lo viviente): el dinamismo del citoplasma; y, por último, *c)* la facultad que, según nuestra interpretación de los hechos de inmunidad, poseen las proteínas de trascender en citoplasmas ajenos influyendo y siendo influidas por éstos con extraordinaria persistencia.

*Leyes de la evolución de los
mecanismos de herencia.*

Con respecto a lo anterior interesa hacer dos observaciones de alcance general que ayudan a comprender el proceso biológico que nos ocupa.

He aquí la primera observación. En la primera fase, ya considerada, del proceso evolutivo, que dió lugar a un retículo dotado de las propiedades que las proteínas ostentan en el funcionamiento normal de todo citoplasma, hemos visto claramente que tal retículo no se originó por un remoto azar, sino por un proceso de desarrollo paulatino en el que se interinfluyó toda la masa del magma orgánico primigenio, hasta que (con pérdida considerable de peso) una porción más o menos importante de él alcanzó un grado avanzado de las posibilidades evolutivas capaces de emanar de su naturaleza fisicoquímica inicial, en las circunstancias ambientales operantes en el período.

La segunda observación es la siguiente. Por las razones dichas, inicialmente no evolucionó lo viviente sino en adquirir estructuras de más en más perpetuables y propagables; en un principio éste hubo de ser el único criterio de ventaja selectiva que en ocasiones entronizaría estructuras que implicarían futuras desventajas o limitaciones potenciales. Ahora bien, al avanzar la evolución, sin duda llegaría un momento en que la transmisibilidad de estructuras alcanzaría un grado de perfección suficiente para que se transmitieran estructuras que, aunque en sí ventajosas, carecían antes de valor selectivo por no lograr transmitirse. No cabe dudar de que, si el valor selectivo de estas nuevas estructuras es de un orden más elevado que el que radi-

caba en las estructuras que conquistaron la hegemonía del retículo en el período anterior, con las nuevas estructuras se iniciará una nueva fase evolutiva cualitativamente distinta de la anterior. En la nueva fase operará, como en la primera, no el azar, sino estadísticamente las posibilidades evolutivas de “toda” la masa reticular que haya alcanzado la nueva altura evolutiva necesaria—ello entraña la homeostasis del nivel anterior—; y, a su vez, la nueva fase lleva, paulatinamente, por selección natural a una gran porción de esta masa madurada de retículo (con la consiguiente pérdida por desintegración) hasta un grado de desarrollo evolutivo en el que (por haber alcanzado la capacidad de transmitir estructuras de un grado de complejidad mayor) resultan operantes nuevos criterios, a ellas vinculados, de ventaja selectiva.

Nótese ahora que todos estos criterios en todas las fases evolutivas se remiten fundamentalmente a la aptitud de favorecer la autopropagación en un medio energéticamente hostil. De modo que la evolución de lo viviente puede, en cierto sentido, considerarse como la evolución de la herencia del ser vivo. En cada período se perfecciona el mecanismo de la herencia por la selección de las variaciones de él más ventajosas respecto a los criterios de selección operantes en el período. El mecanismo considerado es de más en más perfecto; paulatinamente tienden a conquistar la hegemonía estructuras que se acercan asintóticamente a la máxima capacidad de transmitirse—dentro del nivel de complejidad estructural que evoluciona en el período—. Y así la herencia, al irse perfeccionando, termina operando como un agente cada vez más conservador; y lo viviente, perfectamente ajustado a su medio, parece

haber agotado sus posibilidades evolutivas. (Hemos llegado a lo que, en términos de la evolución general, denominamos la homeostasis de un nivel de complejidad). Ahora bien, la misma perfección del aparato herencial alcanzada por lo viviente puede abrir una nueva fase evolutiva si permite que comiencen a transmitirse hereditariamente estructuras que ofrezcan ventajas hasta ahora inoperantes. Cuando así suceda, otro aspecto o fuerza del medio comienza a operar sobre la evolución; en este momento lo viviente se ofrece con toda su diversidad e inadecuación virginal frente a esta fuerza del medio y ello inicia un nuevo período evolutivo, rápido en un principio, en cuyo transcurso lo viviente desarrolla un nuevo nivel de complejidad, sede de la herencia de las nuevas ventajas conquistadas evolutivamente.

Vemos, pues, cómo en la evolución de lo viviente (cumplida por la continua selección de las formas más propagables), el perfeccionamiento de la herencia con su doble efecto, por una parte de seleccionar, perfeccionar y estabilizar las estructuras más adecuadas a las condiciones operantes del medio (efecto paulatino y de más en más conservador) y, por la otra, de abrir la posibilidad, por el aumento mismo de la sensibilidad del aparato hereditario, de hacer operantes nuevas fuerzas selectivas (efecto crítico o revolucionario) entroniza, sin duda, una sucesión armónica, una dinámica ordenación en el modo de establecerse y de quedar plasmadas en homeostasis en el conjunto del magma orgánico las sucesivas fases evolutivas (registradas, podemos decir estratigáficamente en los correspondientes niveles de evolución del aparato herencial) de las que haremos un breve resumen en la próxima conferencia.

TERCERA CONFERENCIA

Resumen de la primera fase evolutiva, fase que condujo (en su segunda parte, «biológicamente», por selección natural) desde el retículo primigenio al protoplasma. Segunda fase de la evolución de lo viviente, la que condujo desde el protoplasma al sistema protoplasma-ácidos nucleicos. Proceso evolutivo (en varias fases) por el que se diferenció, en el sistema citoplasma-ácidos nucleicos, la estructura compleja que canaliza, aprovecha y autorregula la circulación energética peculiar a lo viviente. Relación entre la evolución biológica y la evolución general del cosmos y definición evolutiva de la vida.

I

RESUMEN DE LA PRIMERA FASE EVOLUTIVA, LA QUE CONDUJO (EN SU SEGUNDA PARTE, «BIOLOGICAMENTE», POR SELECCION NATURAL) DESDE EL RETICULO PRIMIGENIO AL PROTOPLASMA

En la conferencia anterior expusimos sucintamente cómo entendemos el primer estadio evolutivo del proceso que lleva desde lo inanimado a lo viviente. Vamos a resumirlo como introducción al estudio somero de otros estadios evolutivos que haremos en esta última conferencia.

Parece obvio que el *material inanimado* de que se componen los organismos vivos hubo de preceder evolutivamente a lo viviente, ya que lo simple antecede a lo compuesto, que es ininteligible sin los elementos que lo componen. Así, pues, dado el sustrato material de los seres vivos, hemos de admitir, al considerar el origen de la vida en nuestro planeta, que la energía radiante hubo de anteceder evolutivamente a los átomos, éstos a las moléculas y las moléculas a los complejos supramoleculares inanimados (esto es, a moléculas enlazadas por valencias residuales).

Por otra parte, tanto la evolución de lo que es más simple y general que lo viviente (esto es, la evolución de lo inanimado previo a la vida), como la evolución de formas de la realidad edificadas sobre lo viviente nos señala que en lo complejo se guarda en homeostasis lo simple. Lo viviente conserva, actuando en equilibrio, las acciones que mantienen los átomos, las moléculas y las estructuras supramoleculares inanimadas de que se formó. Su composición química actual nos enseña cuál fué la naturaleza del barro inanimado de que tomó origen.

El examen verificado por la química aplicada a lo viviente (y concretamente al estudio del fenómeno de la autólisis) nos dice que las moléculas de que consta lo viviente (proteínas, hidratos de carbono y grasas) en nuestro medio hídrico y oxigenado guardan energía química potencial. (Para sintetizarlas *in vitro* hay que aplicar calor; los organismos animales benefician, sometiéndolas a una desintegración más o menos oxidativa, esta energía latente para cumplir sus funciones vitales). Esto impone que estas moléculas, piezas básicas de toda estructura viva (incluso de la más sencilla) y, por tanto, anteriores a la vida constituida con ellas originariamente, hubieron de construirse (a partir de sus átomos) en unas condiciones energéticas distintas de las del medio actual de lo viviente (condiciones éstas que, repetimos, llevan no a su síntesis, sino a su desintegración oxidativa).

Recordemos ahora que—como argumentábamos en la conferencia anterior—, si se enfoca el problema debidamente, apenas cabe dudar de que (en contra de preconceptos extendidos) la evolución hacia lo viviente se inició cuando tales moléculas, materia prima de lo viviente, habían pasado desde sus

condiciones geológicas de síntesis a las de su medio actual.

Pueden darse otras razones, pero para nuestro intento basta la siguiente: la homeostasis de un ente complejo exige la conservación de todas las acciones del medio que condujeron la evolución de sus estructuras subordinadas. Pues bien, evidentemente todas las estructuras subordinadas en lo viviente peculiares de éste (incluso la más sencilla, el citoplasma) no son inteligibles sino en continua interacción con el agua y con el oxígeno. Es una verdad conocida de antiguo que puede probarse por hechos de indudable fuerza demostrativa, como son los siguientes: *uno*, la tenacidad con que lo viviente mantiene su agua líquida al colonizar nuevos medios más secos, como condición *sine qua non* de pervivencia. *El segundo*, cómo la deshidratación absoluta de una célula efectuada de modo que no trastorne sus estructuras internas (que deje estas estructuras en *statu quo*) interrumpe instantáneamente todos los procesos vitales que se reanudan inmediatamente que se añade agua. *El tercero*, es que si hubiera que definir con una expresión de máxima generalidad el proceso energético de toda célula, habría que decir que consiste en circulaciones de hidrógeno, unas exotérmicas y otras endotérmicas, que—contrapuestas y mutuamente reguladas—establecen gradientes térmicos a través del citoplasma y son la causa primera del dinamismo de los seres vivos; pues bien, con toda generalidad, el hidrógeno que circula con consumo de calor procede del agua, y el hidrógeno que circula con cesión de calor termina captado por oxígeno reconstruyendo agua; la vida, pues, es una estructura adaptada a un medio hídrico y oxigenado; y téngase en cuenta

que la vía energética primaria hubo de ser la última de las dos consideradas (como luego veremos con algún detalle). En resumen, la vida, por lo expuesto, se inició en un ambiente geológico físicamente análogo a sus medios hídricos y oxigenados actuales.

Según todo lo anterior, el proceso evolutivo desde lo inanimado a lo viviente puede concretarse en cómo unas moléculas de esqueleto carbonado que, en el medio actual de lo viviente, tienden a descomponerse cediendo calor (y que, por tanto, hubieron de originarse en un medio distinto) han conseguido, en nuestro medio hídrico y oxigenado, eludir su destrucción, intrínsecamente inevitable en él, integrándose en estructuras de complejidad escalonadamente creciente hasta llegar a la propia de los seres vivos actuales (que, por otra parte, en modo alguno han agotado sus posibilidades evolutivas).

Así, pues, en la conferencia anterior estudiamos la primera fase evolutiva desde lo inanimado a lo viviente, comenzando por la consideración (basada en lo estudiado *in vitro*) del modo de disponerse tales moléculas, materia prima de lo viviente, en el medio hídrico y oxigenado propio de la vida. No cabe dudar de que estas moléculas se dispondrían, enlazadas por valencias residuales, en retículos supramoleculares; que en tal retículo suspendido en agua se producirían continuamente tres tipos de acciones conformes con la naturaleza de tal retículo, de sus moléculas y de su medio. Las moléculas mismas, tanto en el retículo como en disolución, experimentarían desintegraciones oxidativas con liberación de calor; moléculas enlazadas al retículo se desprenderían continuamente de él y otras se enlazarían al mismo por valencias residuales; y,

condicionadas por la superficie entre retículo y agua, se producirían fenómenos de catálisis heterogénea. Es fácil ver que estas tres acciones, por su modo de condicionarse, mantendrían en todo momento y lugar un determinado equilibrio dinámico entre retículo y moléculas reticulables disueltas (equilibrio dinámico que se iría desplazando necesariamente con el tiempo a medida que las moléculas fueran desintegrándose). Basta ver, en efecto, que, obviamente, la reticulación favorece la catálisis, la catálisis favorece la desintegración y que la desintegración, en cambio, contrarresta la reticulación.

Consideremos este retículo, desde su estado inicial en nuestro medio, sometido a las tres acciones dichas y preguntémosnos ahora, *primero*, ¿cuál de las tres acciones hubo de ser la condición conductora de la evolución del retículo? En *segundo lugar*, ¿cómo esta acción determinante condujo la evolución del retículo modificándolo paulatinamente durante la primera fase de la evolución hacia lo viviente? Y, en *tercer lugar*, ¿qué forma de la realidad resultó de esta evolución suya? (digamos, entre paréntesis, que tal forma de la realidad puede designarse por dos notas: la *primera*, ser cualitativamente distinta del retículo del cual es culminación evolutiva, ya que sobre ella se inicia una nueva fase evolutiva imposible para el retículo sin haber sufrido la maduración que le llevó a ella; la *segunda*, constituir el nivel de complejidad estructural más elemental y más antiguo de lo viviente y, por tanto, definidor de él en contraposición a lo inanimado). Volviendo a lo anterior, recordemos sumariamente cómo, en la conferencia anterior, respondimos a las tres preguntas.

Con respecto a la primera, esto es, a cuál de las tres acciones definidoras de la dinámica del retículo (a saber, desintegración oxidativa, reticulación de moléculas por sus valencias residuales, y catálisis de superficie) fué la condición determinante de la evolución del retículo, hay que decidirse, sin duda posible, por la primera, ya que es intrínsecamente la más intensa y no está todavía remansada en homeostasis en este primer estadio evolutivo. Hemos, pues, de admitir que la tendencia a desintegrarse oxidativamente con cesión de calor, que, en medio hídrico y oxigenado, es propia de las moléculas carbonadas, materia prima de lo viviente, fué la acción determinante que condujo la primera fase evolutiva hacia la vida.

A la vista del sustrato de la primera fase evolutiva (el retículo considerado) y de la acción que condujo la primera fase evolutiva, no parece difícil responder en líneas generales a la segunda cuestión planteada, esto es, a cómo se produjo la paulatina evolución del retículo durante este período. Al parecer, la energía desintegradora del retículo primigenio no pudo conducir la evolución de éste, sino por selección natural (ya que así entendemos que se producen los procesos evolutivos ulteriores de lo viviente, en que cabe la observación directa e incluso la experimentación, y que —como este primero— están también conducidos por acciones, valga la expresión, hostiles al sustrato en evolución). Ahora bien, como es notorio en el campo biológico en que Darwin descubrió la selección natural, a saber en la evolución de las especies por la selección de los individuos más aptos frente a la acción seleccionadora determinante en cada caso—para que algo evolucione por selección na-

tural ha de tener unas condiciones determinadas que podemos definir así: 1.^a, ha de ser una estructura que una vez aparecida tienda a trascender en réplicas suyas (ser un carácter hereditario), 2.^a, que la herencia no sea perfecta, sino que la estructura trascienda dando réplicas no idénticas y que por ello ofrezcan distinto valor frente a la acción selectiva, y 3.^a, que el medio sea básicamente hostil a lo que evoluciona, en el sentido de que su acción selectiva cuente en el éxito (termine siendo decisiva).

En la conferencia anterior expusimos cómo el retículo primigenio poseía estas cualidades que le hicieron sujeto de una fase evolutiva conducida por selección natural. En efecto, por la facultad del átomo de carbono de constituir moléculas en cadena de longitud y forma variables, a las moléculas primigenias se le ofrecían numerosas posibilidades de disponer sus moléculas en el retículo. Cada posibilidad creaba a su alrededor una pauta de coordinación espacial de otras moléculas (condicionaba la selección de las moléculas que podían enlazarse por valencias residuales y una determinada gama de modos posibles de enlazarse); su ordenación espacial tendía a crecer, como vemos hacen los cristales. Asimismo es evidente que los distintos modos posibles de disponerse el retículo ofrecerían peculiares resistencias a la acción determinante de la evolución (a la desintegración oxidativa); las estructuras más resistentes a esta acción crecerían más, tardarían más en destruirse por efecto de esta acción. Es fácil entender que la evolución hacia la vida se inició por una concurrencia en que sólo competían los tipos de ordenación reticular "hereditarios", entendiéndose por ello las pautas de ordena-

ción reticular cuya velocidad de crecimiento sobrepasaba a la de destrucción por desintegración oxidativa (de modo que, al producirse una demolición molecular en el seno del retículo así ordenado, so-lieran restar fragmentos que actuaran como núcleos hijos con la misma coordinación). La posesión en grado elevado de esta facultad de herencia simple constituyó, sin duda, ventaja selectiva; pero, además, hubo de constituir la primera ventaja selectiva, puesto que, como se ha visto, ninguna ventaja puede actuar evolutivamente por selección natural sin ser hereditaria.

Parece muy probable que en el retículo, inicialmente, no se darían estructuras cuya combinación de resistencia a la desintegración y de poder coordinador les permitiera propagarse específicamente del modo dicho; el retículo entonces evolucionaría de un modo común a lo inanimado (afin a cómo evoluciona lo geológico) y, en virtud de esta evolución, persistirían preferentemente (si bien decreciendo en cantidad como el resto, aumentarían en cuantía relativa) las moléculas más resistentes a la desintegración oxidativa; esto es, de modo directo mejoraría el material reticulable y sólo indirectamente el retículo mismo. Ahora bien, en cuanto esta evolución del material molecular (que, entre otras cosas, lo haría más homogéneo y, por tanto, favorecería la propagación de estructuras supramoleculares originadas de él) permitió la aparición de estructuras reticulares con capacidad de propagarse del modo dicho, entre ellas se inició la concurrencia por la hegemonía sobre el magma reticular (de masa decreciente) por selección natural de las estructuras más propagables. Se inicia entonces una fase evolutiva, que por su dinámica evolutiva puede consi-

derarse ya genuinamente biológica, en la que, por la acción determinante de la desintegración oxidativa, sin duda se entronizó la pauta de ordenación de máxima capacidad de coordinar hacia sí el material primitivo evolucionado.

En efecto, frente a la evolución previa, que no modificaba sino la proporción de las distintas moléculas reticulables, la selección natural aporta, en lo que respecta al retículo, su enorme eficacia evolutiva; esta eficacia radica en que los perfeccionamientos adquiridos constituyen la base para otros mayores y así sucesivamente; y de este modo la entronización de un mayor perfeccionamiento se alza sobre toda la historia evolutiva previa; digamos, de pasada, que la eficacia de este proceso (cuya culminación actual es el pensamiento humano) paga, como todo, un precio, y así la posibilidad de progresar rápidamente tiene la contrapartida del estrechamiento paulatino, en cada proceso concreto evolutivo, del campo de progreso (esto es, tiene la contrapartida de la especialización).

Resumiendo, en esta primera fase evolutiva (conducida, como acción determinante, por la energía de desintegración molecular) hubo de transformarse el retículo inanimado en el protoplasma primigenio. Este protoplasma, por su modo de originarse, no es sino un retículo que ha llegado a ser especialmente apto para defenderse de dicha desintegración. (Si bien, ésta sigue predominando y tal protoplasma se desintegraba paulatinamente; dicho de otro modo, la energía de desintegración sigue siendo la acción determinante de la evolución ulterior del protoplasma.)

Para nuestro concepto evolutivo de que las estructuras de un determinado nivel de complejidad

se mantienen en homeostasis en el seno de estructuras ulteriores más complejas, resulta satisfactorio el hecho de que el citoplasma actual ofrezca en grado elevadísimo las propiedades que se induce que habrían de obtenerse por dicho proceso evolutivo. En efecto, el citoplasma es un sistema de dos fases (dispersante, disolución acuosa, dispersada constituida principalmente por proteínas) que posee las siguientes propiedades: 1.^a, la fase proteínica es continua (como lo demuestra el examen submicroscópico); 2.^a, posee la capacidad de disponer continuamente hacia sí fragmentos de él que caigan en disolución, y, 3.^a, la de desintegrarse continuamente pero sin perder la pauta de ordenación formal en el espacio que conserva con increíble tenacidad a pesar de su movilidad dicha.

Vemos, pues, cómo la evolución que dió origen al protoplasma da cuenta del dinamismo (del mantenimiento) del citoplasma actual. Vemos, también, que el protoplasma (la estructura de lo viviente menos compleja, esto es, más antigua) fué el fruto de un proceso muy prolongado, cuyo resultado estaba predestinado ineluctablemente, 1.^o, por la naturaleza del retículo de partida y de su medio inicial, y 2.^o, de más en más concretamente, por la misma historia evolutiva de este retículo. Podemos, pues, decir que, si bien el protoplasma, como todo lo que es cualitativamente nuevo, tuvo su momento de aparición, ésta fué tan poco fortuita como los restantes procesos repentinos y bruscos de la naturaleza que (en términos de alguien que la conocía profundamente) son siempre tan inesperados como el nacimiento de un niño a los nueve meses de su gestación.

II

SEGUNDA FASE DE LA EVOLUCION DE LO VIVIENTE, LA QUE CONDUJO DESDE EL PROTOPLASMA AL SISTEMA PROTO- PLASMA-ACIDOS NUCLEICOS

Hemos razonado la opinión de que en una primera fase evolutiva alcanzó el grado de complejidad y de capacidad hereditaria que se mantiene en el citoplasma. Las moléculas se dispondrían en el retículo (enlazadas por valencias residuales), según una pauta de sucesión espacial (de periodicidad) en el modo de disponerse, que reduciría al mínimo—compensando las desviaciones—la desnaturalización que inevitablemente tiende a producir la copia por yuxtaposición. Las proteínas citoplásmicas poseen sin duda esa sucesión de estructuras estéricas aptas todas para constituirse en centros de ordenación formal de nuevo material proteico adecuado, como lo revela la pluralidad de determinados inmunológicos que una misma proteína descubre en experimentos de inmunidad convenientes.

Consideramos posible que en la siguiente fase evolutiva se seleccionara y perfeccionara la inclusión de ácidos nucleicos en el retículo proteico anterior, ácidos que resultarían dispersos en él y adaptados a su estructura del modo que parece revelar el examen submicroscópico del citoplasma. Para que se iniciara esta segunda fase evolutiva, que postulamos, son necesarias (según el examen precedente de las generalidades sobre el proceso evolutivo biológico) tres condiciones: 1) que anteriormente la inclusión de tales ácidos en el retículo fuera un fenómeno

frecuente; 2) que la capacidad general del retículo de transmitir estructuras se haya desarrollado evolutivamente hasta el grado suficiente para que estas inclusiones, antes fortuítas, comiencen a ser transmisibles (hereditarias, en el sentido lato que damos a este término)—dicho de otro modo, que la estructura reticular haya alcanzado la necesaria sensibilidad frente a las alteraciones de su orden formal para que comience a trascender por su ámbito la alteración que suponga la intercalación de los ácidos nucleicos—, y 3) que la inclusión de tales ácidos de modo regular constituya una ventaja selectiva, para que, una vez hecha transmisible la inclusión, ésta pueda conquistar la hegemonía del conjunto del magma en evolución hacia lo viviente, a la vez que va adoptando la cuantía y forma más ventajosas de todas las estadísticamente posibles.

El estudio del período al que atribuimos el segundo lugar en la sucesión esquemática del suceso evolutivo (sucesión propuesta como un primer guión sobre el que ordenar discusión futura mejor informada acerca de los hechos y acontecer biológicos) exige de inmediato esclarecer algunos extremos fundamentales. El primero y más importante es entender cuál haya sido la ventaja selectiva que, a este nivel elemental de complejidad alcanzado por el magma orgánico, pudiera suponer, sobre la estructura alternada de proteína y de ácido nucleico. Este esclarecimiento tendría la trascendencia de informarnos, a la vez que de la función primera de los ácidos nucleicos, de su función más básica actual; señalamos esto porque tiene valor general y supone una de las excelencias máximas que se derivan del estudio de lo viviente con criterio evolutivo; no cabe duda de que, en su evolución, lo viviente ha ido

experimentando cambios en los que ha saltado, apoyándose siempre en los elementos que lo constituían previamente, de un orden de complejidad a otro inmediato superior; los antiguos elementos participan en nuevas funciones dentro de las nuevas estructuras—en cuya evolución participaron integradamente formando parte del vector de nuevas ventajas selectivas—, pero sin perder su papel en las antiguas, que persisten integradas en las nuevas; por olvidar esta ley biológica, según la cual lo viviente evoluciona en su conjunto hacia formas de complejidad creciente, puede decirse que, prácticamente siempre, le evidencia de la participación de un determinado elemento estructural en procesos que regulan una estructura superior, enmascara su participación, evolutivamente necesaria, en todos los procesos que regulan las estructuras más básicas y sencillas, sucedidas evolutivamente desde la aparición del elemento estructural, y presentes, efectivamente, como tales en la actual estructura superior constituida por ellas.

Volviendo a los ácidos nucleicos, no cabe duda de que el conocimiento de la primera ventaja selectiva que los entronizó en lo viviente habría de esclarecer, doblemente, el curso de la segunda fase evolutiva postulada y la función primera a que se ajustaron y que siguen cumpliendo. No es posible aquí discutir este problema. Sólo queremos señalar que la estructura mixta de proteína y ácido nucleico ha ofrecido mayor fidelidad hereditaria que la de proteína pura probablemente porque implica una mayor exaltación de su dinamismo interno (del ritmo en el intercambio entre material reticulable y reticulado) y esta exaltación de su dinamismo (probablemente debida a que su naturaleza, química-

mente doble, crea discontinuidades en el ritmo de propagación de ondas de alteración formal por su interior) hace que el conjunto sea muy lábil frente a influjos perturbadores efímeros, que lo fraccionan rápidamente en trozos aptos para conservar la estructura propia y para reintegrarse unos con otros reconstruyendo el retículo en posesión de la estructura inalterada que impone la mayoría de los fragmentos por la ley de los grandes números. En resumen, la estructura más compleja de proteína y ácido nucleico exalta la homeostasis, la resistencia a perder, ante acciones circunstanciales del medio, la propia ordenación, y ello por ser una estructura más dinámica. Claro que—conforme al principio evolutivo general—esta mayor estabilidad en el nivel de complejidad que nos ocupa, hace que paradójicamente, sea el soporte potencial de estructuras selectivas que requieran un aparato más sensible.

Este aparato hereditario se necesitó, sin duda, para que se colmara el proceso evolutivo (que provisionalmente consideraremos tercer período) por el que se constituyó la estructura compleja que canaliza, aprovecha y autorregula la circulación energética propia de lo viviente (ya que a un cierto nivel evolutivo de esta estructura aparecen ácidos nucleicos). En el tiempo que nos queda prestaremos atención preferente a esta fase evolutiva.

III

PROCESO EVOLUTIVO (EN VARIAS FASES) POR EL QUE SE DIFERENCIA, EN EL SISTEMA CITOPLASMA-ACIDOS NUCLEICOS, LA ESTRUCTURA COMPLEJA QUE CANALIZA, APROVECHA Y AUTOREGULA LA CIRCULACION ENERGETICA PECULIAR DE LO VIVIENTE

Fase evolutiva por la que se originaron los enzimas de las desintegraciones oxidativas. Definición evolucionista (y energética) de estos enzimas.

Procuremos, pues, buscar una interpretación inteligible de este tercer período evolutivo, en cuyo curso se creará, a partir de réticulo con estructuras proteicas y nucleoproteicas el cauce de deshidrogenaciones e hidrogenaciones contrapuestas que conserva y hace crecer lo viviente, con ayuda de energía ajena, aprovechando y compensando su desintegración oxidativa, que, sin la organización creada, hubiera terminado agotando toda la materia orgánica primigenia.

De modo conciso podríamos decir que el primer paso en este proceso evolutivo se dió con la aparición del primer enzima de una desintegración oxidativa. Procuremos precisar el concepto evolutivo de estos enzimas.

Indudablemente el magma orgánico seguía sometido como fuerza determinante esencial—aparte de a otros agentes exteriores—a la energía química

potencial que poseía acumulada. Ella parecía condenarle—en cuanto materia no organizada en estructura viviente—a una paulatina e inexorable destrucción por desintegración oxidativa. Veamos una posible explicación de cómo esta desintegración oxidativa misma siguió moldeando la estructura que terminó encauzándola y contrarrestándola armónicamente.

Ya hemos dicho que desde un comienzo, la materia reticulable y reticulada vería acelerada su desintegración por catalizadores. Y que la creación de las estructuras reticulares llevaría consigo la aparición de catálisis vinculada a su superficie. Con ello el retículo implicaría por su mera constitución dos efectos de signo contrario; uno, proteger de la desintegración a sus moléculas internas, y otro, operar en su superficie como catalizador de su desintegración. En ambos efectos pudo encontrar la evolución natural criterios de ventaja selectiva. Y así, con respecto al primero, parece imponerse que, entre las estructuras propagables (hereditarias), tenderían a perdurar más, a igualdad de sus otras cualidades, las que brindarían una mayor protección interna contra la desintegración oxidativa; y, con respecto al segundo, gozarían ventaja selectiva las que, a igualdad de superficie, catalizaran menos la propia desintegración. Nótese ahora que, para que un catalizador adquiriera significación selectiva, ha de estar adscrito a una estructura capaz de auto-propagarse, manteniendo esta aptitud catalizadora. Sin duda, al ir aumentando en los períodos primero y segundo la aptitud general del retículo de trascender las propias pautas de ordenación estérica, de más en más las acciones catalíticas serían cumplidas por estructuras “hereditarias”; es decir, sería

cada vez más propagable con la estructura—más inherente a estructura “hereditaria”—la actividad de catálisis. Cuando la densidad de estas estructuras llegó a ser suficientemente alta, constituye un nuevo sustrato material, sobre el que operó la selección natural abriendo un nuevo período evolutivo.

En efecto, los catalizadores de desintegración oxidativa vinculados a la estructura presentan en mayor o menor grado una cualidad en la que puede apoyarse su selección natural. Estos catalizadores rompen o establecen enlaces de primer orden, con la consecuencia inevitable de desorganizar en un entorno mayor o menor el retículo, trabado por enlaces de segundo orden. Constituiría ya ventaja selectiva entre ellos el catalizar reacciones en que se libere poca energía y, en consecuencia, se destruya poca estructura reticular propia; las estructuras que los impliquen tenderán, pues, a predominar, y a seleccionarse en la evolución las catálisis de reacciones cada vez más suaves.

Este proceso evolutivo culminaría en la aparición de enzimas de las desintegraciones oxidativas, propiamente dichos; podríamos denominar enzima a uno de tales catalizadores cuando la energía desprendida en la reacción por él catalizada es de un orden tal que excita el retículo (lo activa) sin romper su coherencia. Cuando los catalizadores vinculados a la estructura alcanzan gradualmente este fino ajuste al nivel energético que mantiene la estructura reticular, no cabe duda de que adquieren bruscamnte una extraordinaria ventaja selectiva. Al llegar a este momento, parte de la energía potencial liberada en la desintegración oxidativa es aprovechada en aumentar la capacidad integradora del retículo, en lugar de desorganizarlo más o me-

nos. En favor de este criterio selectivo hablan dos hechos generales: uno, que sólo a través de una acción catalítica conveniente puede fraccionarse el salto energético de la rotura o creación de enlaces de primer orden, sin destruir los de segundo orden, y, otro, que los enzimas, de hecho, en una inmensa parte están vinculados necesariamente a una porción proteica de su molécula o son proteínas estrictas.

Fase evolutiva por la que se producen cadenas de dos enzimas de desintegración oxidativa. Id., de más de dos.

No cabe duda de que el hecho de cambiar de signo el efecto de una reacción de desintegración catalizada como supone la aparición de estos enzimas (favorecer en lugar de destruir el retículo), iniciaría una fase evolutiva, en cuyo transcurso ellos aumentarían rápidamente de concentración en el retículo, cuyas porciones con enzimas se propagarían a expensas de las pobres en ellos. Tal concentración indudablemente facilitaría la posibilidad de cadenas de enzimas—en las que los primeramente formados actuarían como sustratos de los ulteriores—; cadenas primero de dos, luego de más enzimas, vinculados en su conjunto a una estructura reticular unitaria, que permitiría cada vez un mejor aprovechamiento energético para la estructura de dos tipos de enlace (para el retículo) de que formen parte. De estas cadenas sirven de claro ejemplo las de los enzimas de la respiración, de cuyo carácter pri-

mitivo habla su generalidad absoluta en el interior de las células vivientes.

Cuando el catalizador vinculado a la estructura reticular actúa como enzima, continúa ciertamente demoliendo la materia orgánica disponible, que sigue reduciéndose en cantidad global; ahora bien, como se ha argumentado, estos enzimas resultan en sí mismos ventajosos para la estructura que los posee, que tiende a crecer a expensas de la que carezca de ellos, a la que disputan con éxito el material reticulable disperso. El carácter evolutivamente ventajoso de los enzimas condiciona la naturaleza de las transformaciones que la selección natural apoyada en ellos causará en sus propias propiedades y en las del medio que les rodea. Sin duda, el estudio meditado de este proceso evolutivo puede dar la clave de cualidades definidoras de los enzimas.

Es, ante todo, evidente que, por la definición dada, el enzima difiere de los previos catalizadores vinculados a la estructura en que limita su acción catalítica a reacciones cuyo salto energético sea aprovechable y no nocivo al retículo.

Con respecto, pues, al enzima primero de una cadena de dos del tipo dicho, su especificidad ha evolucionado en el sentido de que actúa como catalizador de la desintegración oxidativa de una molécula del retículo (coenzima), molécula ésta que, a su vez, es desintegrada oxidativamente por otra molécula del medio, en general oxígeno, y ella vuelve a su estado primero y actúa, pues, como segundo enzima de la cadena de dos. Las ventajas evolutivas que puede ofrecer la cadena de dos enzimas frente al correspondiente enzima aislado parecen manifiestas: por una parte, la energía liberada en la reacción se fracciona en dos porciones surgidas en

distinto momento y lugar, lo que probablemente favorecerá siempre el aprovechamiento de esta energía para el mantenimiento y propagación del retículo; por otra parte, y por una razón análoga, conseguiría hacer aprovechables por el retículo nuevas reacciones catalizadas, cuya cuantía de energía liberada las hacía inaprovechables para el retículo con el concurso de sólo un enzima. Todas estas razones, sin duda, valen como ventajas selectivas de las cadenas de tres enzimas frente a las de dos; de las de cuatro frente a las de tres, etc. El número final de enzimas de estas cadenas establecido definitivamente por el proceso evolutivo es, probablemente, el óptimo para el mayor aprovechamiento energético o, tal vez, el establecido por un compromiso entre la ventaja selectiva (que tendía a aumentarlo aún más) y el límite de capacidad del retículo de propagar una estructura que implicara la aptitud de desarrollar la diferenciación armónica y mancomunada de tantos enzimas.

Fase evolutiva en la que algunas de las cadenas de enzimas anteriores invierten su dirección, y así se constituyen mecanismos complejos, autorregulables, de cadenas de desintegración exotérmica y de síntesis endotérmica.

Si aplicamos, una vez más, el orden de ideas seguido al exponer las fases anteriores del proceso evolutivo, hay que admitir que en cuanto las ca-

denas de enzimas se hicieran propagables, dada la ventaja que ofrecen para el mantenimiento y crecimiento de la masa reticular que las posee, se harían de más en más frecuentes en el magma orgánico llegado a este estadio de su progreso evolutivo. Ahora bien, esta densidad misma facilita el sustrato material de una nueva ventaja evolutiva y permite de nuevo que de un progreso cuantitativo surja una transformación cualitativa en el devenir hacia la vida actual.

En efecto, cuando la densidad de las cadenas sea suficiente se dará la posibilidad objetiva, material y energética de que una de ellas invierta su dirección; ya que las primeras producen continuamente el material oxidado al que reducirá la segunda, aportan la energía necesaria para que se cumpla la reducción integradora (endotérmica) y, por último, por la reversibilidad de todas sus fases, constituyen una ruta apta para cumplir el camino inverso. Estas reversiones ofrecen, sin duda, una extraordinaria ventaja para la estructura donde circunstancialmente se den: aprovechan de modo óptimo el calor de desintegración; recuperan parte del material orgánico desintegrado y echan las bases de un mecanismo de "autorregulación", de *feedback*. Cuando el mecanismo hereditario sea lo bastante sensible para transmitir estructuras que entrañen "este sistema de cadenas autorregulables", sus enormes ventajas operarían selectivamente hasta conquistar la hegemonía del magma en evolución. Hay que sospechar que el mecanismo hereditario ya no alcanzaría a transmitir como tal una estructura tan compleja, sino un germen de ella, más sencillo, pero capaz—por su crecimiento y funcionamiento—de irse diferenciando internamente por

efecto de la estructura; es decir, la estructura compleja propagaría por el retículo estructuras análogas pero no diferenciadas ni coordinadas funcionalmente, que guardan de modo predeterminado (por establecer al desarrollarse un determinado campo respecto al entorno de ellas) una evolución que conduce a estructuras iguales a la que se propaga. Es muy posible que lo que guía la diferenciación en este sucinto proceso ontogénico sea la selección entre estructuras (supuestas concurrentes en la disputa por el predominio de un retículo sumamente dinámico), que son vectores de distintas acciones enzimáticas; dado que estas acciones han llegado a ser tan beneficiosas para el retículo que éste ha debido evolucionar, adaptándose a ellas hasta necesitarlas para mantenerse, es lógico pensar que en cada punto de la estructura se impondrán las que trabajen regularmente (por convenir la especificidad enzimática y el sustrato que proporciona el medio). De este modo el proceso ontogénico comienza a esbozarse como obedeciendo a las mismas leyes que presidieron la evolución desde el magma primigenio a lo viviente y que sigue actuando en la evolución filogénica, lo que señala el carácter básico de ellas en cuanto a la naturaleza viva.

Fase evolutiva por la que los mecanismos autorregulados originados en la fase anterior logran aprovechar para lo viviente energía exterior, y así consiguen un balance energético por primera vez favorable (fotosíntesis).

Por el anterior período evolutivo el retículo aprovecha de más en más la energía de desintegración oxidativa que guarda acumulada; este aprovechamiento será cada vez mayor y se acercará, dentro del estadio evolutivo dicho, a un grado de perfección tope limitado por el máximo ajuste que permita la naturaleza y circunstancias del conjunto del magma a las funciones evolucionando en la fase. Cualquiera que fuese este límite impuesto por la propia naturaleza, la energía de desintegración (que se degrada en parte como calor inaprovechable, en parte mantiene la homeostasis reticular, e incluso impulsa los ajustes evolutivos) no podrá aplicarse a la integración sino en un determinado porcentaje. Por tanto, sin el concurso armónico—conforme a la estructura—de energía exterior al retículo mismo, éste, en el grado de evolución conseguido, marchaba con la máxima lentitud inherente pero inexorablemente, a la extinción total de la materia reticulable.

Ahora bien, la fase evolutiva anterior, como todas con una capacidad interna limitada de progreso, guardaba en sí, también de modo análogo a las anteriores, la posibilidad de establecer un sustrato estructural en que actuara como ventaja selectiva el aprovechamiento de la energía exterior, que emanciparía a la materia orgánica en evolución de un

inaplazable término condicionado, digámoslo así, por autoconsunción.

En efecto, con el aumento de densidad de los mecanismos "autorregulables" de circulación energética y material establecidos en el periodo anterior, parece aumentar también la posibilidad de que el aprovechamiento de energía exterior constituya ventaja selectiva operante hacia la solución que vemos en la intimidad estructural de los seres vivos actuales. Examinemos las circunstancias previas que ayudan al aprovechamiento organizado de energía exterior al darse dicho aumento de densidad.

No cabe duda de que, desde el origen mismo del retículo, energía de procedencia exterior a éste actuaría sobre él, sobre el material orgánico reticulable y sobre la materia orgánica desintegrada, e impulsaría diversas reacciones de integración endotérmica; y así podría favorecerse una de estas integraciones por el concurso ocasional de una reacción inorgánica exotérmica o por energía radiante de cualquier tipo, por ejemplo, por la luz; fenómenos todos que, en efecto, se producen *in vitro*. No cabe duda de que en sí mismas todas estas integraciones guardan en potencia la posibilidad de resultar ventajosas, ya que consideradas aisladamente se oponen a la desintegración oxidativa de la materia orgánica; pero, de hecho, en un principio tales acciones por lo regular no ayudarían a la estructura en evolución donde se produzcan, porque el efecto en sí favorable de impulsar una integración endotérmica estaría sobrepasado en la mayor parte de los casos por el desfavorable de perturbar la disposición del material reticulado y la selección del material reticulable de acuerdo con el progreso evolutivo encauzado por las ventajas operantes en el momento. Por

tanto, sólo después de que la energía de desintegración hubo moldeado hasta un cierto grado la estructura viviente, ésta pudo comenzar a beneficiar energía exterior como factor frecuentemente ventajoso; en cuanto este beneficio se hiciera transmisible, la energía exterior se constituiría al fin en ventaja selectiva y conduciría un importante periodo de desarrollo evolutivo. Es fácil entender que el retículo en evolución hacia lo viviente, que en el estadio anterior ha logrado establecer un mecanismo por el que parte de la energía de desintegración oxidativa se transforma en energía de integración aprovechable por el retículo, junto con esta aptitud ha adquirido la de aprovechar congruentemente con la propia estructura energía de integración de otra procedencia (energía exterior).

Veamos un ejemplo concreto de cómo la estructura reticular, al ir avanzando el estadio evolutivo anteriormente estudiado, iba adquiriendo cualidades objetivas por las que la energía exterior actuaría con frecuencia de modo favorable. En dicho estadio poseía, en efecto, un enzima capaz, cuando se dieran las condiciones materiales y energéticas adecuadas, de catalizar la transferencia de hidrógeno desde el agua a una determinada molécula que forma parte de la misma estructura a que pertenece el enzima, molécula que actuaría como coenzima de la integración de hidrógeno; tal enzima no es sino el último de la cadena de enzimas por la que se transfiere hidrógeno cedido por una sustancia orgánica en deshidrogenación exotérmica a oxígeno molecular cuando el ajuste estructural lo sitúa en condiciones materiales y energéticas que revierten el sentido de la reacción que primitivamente catalizaba. En los mecanismos de autorregulación esta-

blecidos en el período anterior, este enzima operaba ya —según las circunstancias energéticas y de equilibrio químico condicionadas por la estructura para el lugar de actuación— como cabeza de una ruta inversa de hidrogenación endotérmica; aprovechando en el segundo caso el sustrato material y la energía, facilitados por deshidrogenaciones convenientemente ensambladas. Parece incuestionable que toda aplicación de energía exterior que circunstancialmente se sumara a la de desintegración dicha, habría de resultar útil; y que, por tanto, tenderían a imponerse evolutivamente las estructuras que, de un modo u otro, implicaran esta ventaja y la transmitieran a las estructuras vástagos de ellas.

Hay que pensar *a priori* que, por falta de datos, hoy sería muy difícil decidir qué forma de energía exterior fué la que presidió el período evolutivo hacia el aprovechamiento de ella misma. Hay que suponer que hasta aquel momento, con mayor o menor cuantía, pero siempre desordenadamente, actuaría sobre la materia orgánica todas las formas y fuentes de energía que coexistieran en el medio ambiente del retículo, definiendo por su suma el nivel energético de este medio; parece lógico admitir que la primera forma de energía que actuó como ventaja selectiva hubo de ser, antes que la más abundante, la más fácilmente adaptable, por su naturaleza o por su quantum de acción, al cauce integrador persistente alimentado por energía de desintegración. Lo que no cabe duda es que, según haya sido la índole y procedencia de la energía exterior que presidió este período evolutivo, se impondrían en él como ventajas unas muy determinadas adaptaciones de la estructura viviente que difícilmente convendrían a energía exterior de otro tipo. Ahora bien, en todas

estas adaptaciones la energía exterior, cualquiera que haya sido su fuente, habrá actuado sobre los mecanismos autorregulables preestablecidos y habrá aprovechado mecanismos de herencia de complicación creciente, pero apoyados en los básicos señalados (de hecho, el aprovechamiento de energía exterior no complica de grado el esquema de los mecanismos de autorregulación perfeccionados en el periodo evolutivo anterior del proceso esquemáticamente supuesto). Prescindimos de considerar en este esbozo de problemática de la evolución de lo viviente las cuestiones que implica la diversificación de medios, la correspondiente adaptación a ellos y el periodo evolutivo al que remontar la primera diversificación de que restan indicios estructurales.

Durante este periodo en el que se seleccionan las estructuras hereditarias más aptas para aprovechar energía exterior, lo viviente completa el mecanismo básico de autorregulación material y energética común a todas las células actuales, mecanismo cuyo desarrollo evolutivo nos propusimos inducir. Mediante él lo viviente logra por primera vez que sus síntesis endotérmicas sobrepasen a sus demoliciones exotérmicas y de este modo —con la aplicación de energía exterior—, consigue escapar a una extinción causada por autoconsumo, que —aunque de más en más demorada— era inevitable en los niveles de organización de los periodos anteriores.

Parece evidente que al culminar el anterior proceso evolutivo (por el que el mecanismo de autorregulación de la energía de desintegración consiguió finalmente aprovechar energía exterior al retículo), la energía de desintegración deja de ser la acción determinante de la evolución. Lo viviente ha logrado transformar su balance energético inicialmente

desfavorable (por lo que la masa de protoplasma primigenio se iba reduciendo de tamaño) *en positivo*; en consecuencia, la energía de desintegración deja de ser una acción contraria a lo viviente que selecciona a éste por la resistencia que le opone. En lugar de ello, debidamente contrarrestada por la de integración endotérmica (procedente en gran parte de la desintegración misma y suplementada por energía exterior) se mantiene en homeostasis en los niveles de complejidad estructural preestablecidos. En efecto, este mantenimiento (condición indispensable de toda evolución ulterior) está patente en los mecanismos intracelulares actuales de respiración y análogos y de fotosíntesis y análogos.

Fase evolutiva de la celularización.

En estas conferencias, en lugar de ceñirnos al estudio concreto de cada fase hemos procurado en todo momento relacionarla con los conceptos evolucionistas generales, de acuerdo con la índole de los temas del "Departamento de Filosofía e Historia de la Ciencia" organizador de estas conferencias. Esperamos que este modo de proceder haya permitido entender las líneas generales de pensamiento científico (que creemos vinculadas a las calzadas más progresivas de la biología) que informan el modo de entender lo viviente en función de su evolución y viceversa. Por todo lo anterior, hemos considerado preferible estudiar con alguna extensión los estadios evolutivos primordiales y prescindir de considerar los restantes. En los próximos meses nos pro-

ponemos ordenar nuestras nociones evolutivas (y contrastarlas con el acervo de hechos conocidos con respecto a los correspondientes niveles de complejidad) relativas a cuatro fases sucesivas de la evolución de lo viviente; a saber, la de celularización, la de formación de un tejido, la del establecimiento de organismos pluricitulares (evolución de los procesos ontogénicos), y la de evolución de las especies.

Aquí sólo deseamos señalar el modo, que creemos más probable, por el que los elementos celulares—sin duda, previos a la célula— crearon a ésta. Señalemos que la existencia de estas estructuras que se autorregulan por *feed-back*, una vez llegadas a homeostasis del modo dicho, constituyen el sustrato de una forma obvia de ventaja selectiva que entroniza sobre tales estructuras un nuevo proceso evolutivo que culminará en la célula. En efecto, resultará ventajosa cuanta modificación se dé en una de estas estructuras que favorezca su individualización en el sentido de crear un medio interno que recoja de más en más, que aproveche y mantenga los desplazamientos compensables de equilibrio químico y que, de este modo, contribuya al máximo aprovechamiento no sólo energético sino material. Nótese como este proceso evolutivo, ininteligible sin el anterior, no sólo se apoya sobre él (surge de su genuina naturaleza) sino que lo mantiene en homeostasis. Si del modo anterior se originó la célula, sin duda, su tamaño, propiedades generales, permeabilidad de membrana, etc., son hijas de tal acción selectiva; la célula, pues, se entenderá en función de tal proceso y, a la inversa, sus propiedades actuales así enfocadas, pueden establecer los términos concretos del proceso evolutivo de la celularización.

IV

RELACION ENTRE LA EVOLUCION BIOLOGICA Y LA EVOLUCION GENERAL DEL COSMOS. DEFINICION EVOLUCIONISTA DE LA VIDA

Si, realmente, el orden de ideas expuesto conviene con las direcciones actuales de progreso de la biología no hay ningún momento de la evolución del magma orgánico hasta lo viviente actual que merezca con preferencia a otro considerarse como el de nacimiento de la vida. De hecho, la vida parece definirse exclusivamente por las leyes del propio devenir, que parecen convenir, con completa generalidad a todo el proceso evolutivo desde su misma iniciación. Y no es solamente que estas leyes sean exclusivas y generales a la materia orgánica en evolución a lo largo del proceso evolutivo, sino que definen igualmente la función del vivir en cada una de las estructuras superpuestas que integran su organización en uno cualquiera de los estadios de su desarrollo; el proceso evolutivo de lo viviente informa, pues, profundamente de los procesos por los que los seres vivos se mantienen en vida; proposición que, si bien se mira, es una consecuencia inmediata de la ley evolutiva enunciada, según la cual el paulatino perfeccionamiento de la hemeostasis dentro de una fase evolutiva es, precisamente, lo que echa las bases de una nueva fase en la que, sobre la estructura perfeccionada en la fase anterior, comienzan a operar selectivamente influencias más finas del medio.

Por otra parte, el examen de los sucesivos estados

evolutivos parece descubrir que, en cada uno de ellos, el nivel de complejidad que en él progresa alcanza la perfección máxima condicionada por toda la suma de lo viviente en interacción continua y múltiple. En cada fase evolutiva la dirección del avance y la estructura conseguida están determinadas por la cantidad y por la naturaleza del conjunto de lo viviente que la inicia y es más, por el orden mismo de producirse la evolución en cada fase. Esta consideración parece señalar que el magma orgánico primigenio surge, a su vez, como consecuencia necesaria de la evolución de lo inorgánico. Cuando en un lugar del cosmos se llega a un determinado nivel energético parece probable que se condicione de modo necesario la formación de cadenas largas con la variación que ellas implican; si, en el curso de la evolución, estas moléculas inciden en cantidad suficiente en un medio del nivel energético apropiado para enlazarse por sus valencias residuales (posibilidad conforme con el sentido de la evolución en el sector del cosmos que conocemos) se darán las condiciones para que se inicie la evolución viviente. Lo anterior parece conferir a la aparición de la vida un carácter cosmogónico general.

En esta somera correlación entre la evolución viviente y la cósmica desviemos ahora la atención desde el origen de aquella hacia su futuro. Lo que ha engendrado la vida, la mantiene y dirige su evolución es, paradójicamente, la inestabilidad de las moléculas que constituyen su estructura básica en el medio apto para la vida. En toda su evolución, lo viviente es hijo de la hostilidad del medio. Este, en cada período evolutivo, presenta a lo viviente barreras a su autopropagación, en volumen y en el tiempo, insalvables para el nivel de complejidad

estructural que progresa en el periodo; ahora bien, lo viviente en su evolución ha ido salvando hasta hoy estas barreras gracias a que el perfeccionamiento de una estructura, permite que se inicie sobre ella el desarrollo paulatino (en un nuevo proceso evolutivo) de otra más compleja; y ello, precisamente por contrarrestar para el propio perfeccionamiento, en virtud del perfeccionamiento anterior, de modo cualitativamente más complejo que antes, las acciones del medio básicamente hostil (esto es lo que significa que en todos los periodos dirijan la evolución ventajas selectivas). (Por este motivo la capacidad de aprovechamiento energético del medio para la propia pervivencia y reproducción constituye el criterio último de éxito biológico; y la sublimación de un aparato de herencia en otro de orden superior es la expresión profunda del progreso de lo viviente.)

Hasta que en el último periodo descrito con detalle comenzó a operar como ventaja selectiva el aprovechamiento de energía exterior al retículo, la vida —como se ha dicho— estaba amenazada de extinguirse de modo, al parecer, inaplazable (esto explica la incapacidad básica de los elementos infracelulares a tener existencia independiente); ciertamente en las primeras fases evolutivas la energía exterior actuaba continuamente sobre lo viviente, pero de modo incongruente con su organización, y constituyendo meramente el nivel energético de referencia de la energía química potencial acumulada en la materia prima orgánica, única fuente energética que actuaba conforme a la organización viviente. Por perfectamente que se recuperara y aprovechara la reserva de energía potencial se acercaba ineluctablemente a la extinción, como hoy lo hacen

los fragmentos de citoplasma aislados. La adecuación de los mecanismos autorregulables de desintegraciones exotérmicas e integraciones endotérmicas al aprovechamiento de energía exterior suplementaria salva a lo viviente, sin duda, de este fin y le permite pasar desde la disminución progresiva de materia, primero al mantenimiento y luego al aumento gradual. Ahora bien, este aumento aparece inicialmente condicionado por la cantidad de materia orgánica de que se disponga en el medio colonizado por lo viviente. Es obvio que en ulteriores etapas evolutivas lo viviente se ha ido especializando en ocupar con eficiencia creciente un número mayor de habitantes de modo que el aprovechamiento energético y material de la tierra por lo viviente ha ido creciendo sin cesar. Es de conocimiento general que en el progreso de este aprovechamiento, el hombre instaura una etapa cualitativamente distinta. Ahora bien, en el estadio evolutivo actual, el posible desarrollo de lo viviente (conducido cada vez más y mejor por el hombre para su propio beneficio) aparece limitado en extensión por los recursos naturales de nuestro planeta y, al mismo tiempo, por lo que dure en él el mantenimiento del nivel energético necesario para lo viviente. Si la vida persistiera hasta ese remotísimo final podría decirse que en un punto del cosmos había cubierto el período completo de evolución cósmica capaz de sustentarla.

INDICE

	<u>Páginas</u>
Palabras previas	7
Primera conferencia	11
I. Características generales de la realidad objetiva ...	13
II. Propiedades de los procesos vivientes en cuanto éstos son parte del proceso general de la realidad objetiva	23
III. Exigencias objetivas a las que debe obedecer toda interpretación de lo viviente	25
Segunda conferencia	41
I. Resumen de las propiedades, expuestas en la conferencia anterior, que lo viviente y su evolución poseen por el mero carácter de ser parte de la realidad	43
II. Estudio de la primera fase de la evolución de lo inanimado a lo viviente que, por tanto, dió origen a la estructura común a lo viviente al nivel de complejidad más bajo (el citoplasma). Características peculiares de la evolución biológica: producirse por selección natural y leyes de evolución de los mecanismos de herencia	55
Tercera conferencia	75
I. Resumen de la primera fase evolutiva, la que condujo (en su segunda parte, "biológicamente", por selección natural) desde el retículo primigenio al protoplasma	77

II. Segunda fase de la evolución de lo viviente, la que condujo desde el protoplasma al sistema protoplasma-ácidos nucleicos	87
III. Proceso evolutivo (en varias fases) por el que se diferenció, en el sistema citoplasma-ácidos nucleicos, la estructura compleja que canaliza, aprovecha y autorregula la circulación energética peculiar a lo viviente	91
IV. Relación entre la evolución biológica y la evolución general del cosmos. Definición evolucionista de la vida	106



ESTE CUADERNO SE ACABÓ DE IMPRIMIR
EL 16 DE OCTUBRE DE 1958, EN LOS
TALLERES GRÁFICAS HALAR, DE
MADRID.

