

Hees.
Legajo No. 5

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Ciencias



**Conocimientos Científicos Actuales Sobre el
Origen de la Vida**

T E S I S

Que para obtener el título de :

B I O L O G O

p r e s e n t a :

GUILLERMO AULLET BRIBIESCA

México, D. F.

1979

3647

6332

11



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

CAPITULO I.

INTRODUCCION .

Desde que los hombres fueron conscientes de su propia existencia el fenómeno que más ha llamado su atención ha sido, sin duda, el fenómeno de la vida. Desde los tiempos más remotos, los hombres se han maravillado ante la enorme diversidad y la prodigiosa fecundidad de la vida. Así, surgieron dos preguntas - fundamentales e inseparables, que todos los hombres de todas las épocas se han formulado: ¿qué es la vida? ¿cuál fue su origen?; éstas han motivado profundas reflexiones para hallarles respuesta. El problema del origen de la vida, que es imposible desvincular de aquel de la naturaleza de la vida, ha ocupado un lugar privilegiado, central, en la historia del pensamiento, tal como lo constatan las principales corrientes filosóficas y todas las doctrinas religiosas, cuyas partes medulares se han constituido en torno a este problema.

Todas las teorías religiosas respecto al origen y naturaleza de la vida resultan, en esencia, idénticas; están basadas en especulaciones o concepciones míticas muy remotas. Los libros sagrados de las distintas religiones dedican al problema una parte fundamental de su contenido, nos hablan de la creación de la vida por uno o varios dioses; el ejemplo más conocido para nosotros lo constituye el Génesis de la Biblia, libro sagrado de las religiones judaico-cristianas.

Las teorías filosóficas al respecto se presentan mucho más heterogéneas y complicadas que las religiosas, aunque, en general, pueden coincidir o discrepar de ellas, alejándose o aproximándose a la Ciencia. Empero, de uno o de otro modo, las distintas respuestas intentadas a través de dichas teorías, han sido sólo el producto de especulaciones puras o intuiciones más o menos brillantes de algunos pensadores destacados y han carecido por lo tanto, en mayor o menor grado, de bases científicas. Sólomente cuando gracias al desarrollo social a través de la expan-

sión de las fuerzas productivas la ciencia adquiere un desarrollo inusitado, se da por primera vez la posibilidad de responder con bases sólidas y objetivas a esas viejas interrogantes que durante milenios han desafiado al pensamiento humano y que han jugado siempre un papel central en todas las concepciones del mundo.

Por lo que respecta a la ciencia, ésta sólo hasta nuestro siglo, con -
(1)
la publicación del libro de Alexander Ivanovich Oparin en 1924, estuvo realmente en posibilidad de abordar el problema en una forma sistemática y organizada, tomando en cuenta la dimensión histórica del problema, acorde con el esquema de la teoría darwiniana de la evolución.

El interés por el tema del origen de la vida en este trabajo puede desprenderse, en primera instancia, de todo lo anterior. El problema es en sí mismo apasionante. Pero considero que no es sólo por emotividad que debe abordarse, - sino porque es la consecuencia lógica y el remate de la teoría biológica fundamental, necesaria para configurar una completa Biología Teórica, y que además sirva de base firme para una verdadera concepción científica del mundo. En este sentido, el problema se relaciona indiscutiblemente, de manera muy especial y no menos importante, con la lucha ideológica de nuestro tiempo a la cual la ciencia tampoco es ajena, como se mostrará en esta tesis.

A no dudar, pisamos un terreno especulativo todavía, en gran parte, - aunque dentro de los marcos de la ciencia como diría J.D. Bernal (2). Después de todo, ese ha sido el camino seguido por la ciencia para conocer la realidad.

(1) A.I. Oparin, (1924), Proiskhozhdenie zhizny (trad. al inglés de Ann Synge y - publicado como apéndice I del libro de J.D. Bernal (1967) The Origin of Life: The World Publ. Co., Cleveland. pp. 197-234.

(2) J.D. Bernal: (1967), The Origin Of Life, ed. cit.

1. EL ORIGEN DE LA VIDA: ¿PROBLEMA FILOSOFICO O PROBLEMA CIENTIFICO?

Como se ha visto, durante milenios el asunto del origen de la vida fue propiamente un problema filosófico, pero ahora, en nuestro siglo, la ciencia se ocupa de él de manera muy especial, tanto es así que con los trabajos científicos publicados de 1953 a la fecha se podrían formar, fácilmente, veinte gruesos volúmenes de unas mil páginas cada uno. ¿Quiere decir ésto que el problema ha quedado fuera de la filosofía?. Naturalmente que la respuesta a esta pregunta depende del concepto que se tenga de la filosofía. Por otra parte, resulta hartó difícil, si no imposible, dar una definición o un concepto de filosofía aceptable para todos, pues, como afirmaba Bertrand Russell, toda definición que se dé a la palabra filosofía variará con la filosofía que se adopte (3); así, cualquier definición resultará polémica para algunos y mostrará inevitablemente un punto de vista filosófico determinado. Todo ello obedece a la propia naturaleza de la filosofía.

1.1. NATURALEZA DE LA FILOSOFIA.- Algunos pensadores consideran a la filosofía como algo opuesto o ajeno a la ciencia, como producto de la especulación pura y la supercheria; otros, en cambio, consideran a la filosofía una ciencia cuyo objetivo es el conocimiento de lo general; y, otros más, la conciben como una actividad (no como una ciencia), a la cual asignan una tarea muy modesta, ya sea para trazar una línea de demarcación entre lo científico y lo ideológico (entre ciencia y no-ciencia), o para realizar el análisis lógico del lenguaje científico y dar sentido a sus enunciados y, asimismo, vigilar las fronteras entre las distintas ciencias desde un punto de vista crítico.

Ante este abanico de opiniones se hace inevitable un análisis de las mismas, aunque sea breve, para ubicar claramente nuestro problema.

Quienes piensan que la ciencia y la filosofía se contraponen necesaria-

(3) B. Russell: (1972), Fundamentos de Filosofía, Ed. Plaza & Janes, Barcelona, p.15

mente (principalmente los científicos), señalan que aunque las ciencias se de rizaron de la filosofía en el pasado, aquéllas se han ido apartando paulatina mente de ésta a través de la historia, hasta hallarse en una situación antagó nica. Incluso algunos de estos pensadores han considerado que la lógica y - la teoría del conocimiento (gnoseología o epistemología), terrenos que tradi cionalmente habían pertenecido a la filosofía, deben separarse de ella e incor porarse plenamente a la ciencia.

Para este grupo, la diferencia fundamental entre la ciencia y la filo sofía radica en que la ciencia posee un objeto y un método propios, definidos y precisos, un método basado en la experiencia sistematizada. La ciencia, ade más, dispone de un lenguaje determinado por el rigor lógico-matemático. La fi losofía por el contrario, carece de todos esos elementos. Así, mientras en la ciencia las discrepancias se dirimen por medio de la constatación experimental o lógica, en la filosofía esas son cuestiones de convicción o de fé.

La reacción contra la filosofía, desde luego, no está exenta de justi ficación. Este desdén por la filosofía obedece a los excesos y pretensiones - absurdas de no pocos filósofos, quienes aspiran a hacer de ella el prototipo - de ciencia, la ciencia suprema o bien; la consideran como algo superior a la - ciencia. Tal desdén es, pues, contra aquellos filósofos que creen sólo en el "conocimiento" adquirido a través de la revelación o la intuición, únicas capa ces de mostrar la esencia del mundo y no la aparente realidad mostrada por el fenómeno, que es lo único a lo cual nos conducen las ciencias.

Sin embargo, esa oposición hacia la filosofía resulta contradictoria. Aparte de que se generaliza erróneamente al considerar un tipo de filosofía como la filosofía misma, no nos explica porqué muchos científicos, tanto en el pasado como ahora, han sido, asimismo, importantes filósofos. Hombres de cien-

cia tan ilustres como Newton, Einstein, Mach, Poincaré, Huxley, Maldane, Heisenberg, Planck, Schrödinger, Wiener, etc., fueron a la vez filósofos. Lo más grave del caso es que estos practicantes de la filosofía son muy a menudo los representantes de la corrientes más contradictorias a los resultados de la ciencia que ellos practican al mismo tiempo.

La explicación de esa incongruencia la han dado diversos pensadores; Whitehead, filósofo inglés de este siglo, afirmaba que el científico, con frecuencia "es víctima de los prejuicios filosóficos adquiridos de una niñera, de un maestro de escuela, o de las formas de expresión en uso" (4); Mario Bunge al respecto dice: "Los científicos sin formación filosófica suelen ser los creyentes más fervorosos en la existencia de la filosofía de la ciencia, que a menudo es aquella que han aprendido en el libro de epistemología con que se han cruzado"; y por su parte Engels de manera más clara y completa explicó: "Los naturalistas creen liberarse de la filosofía simplemente por ignorar o hablar mal de ella. Pero, como no pueden lograr nada sin pensar y para pensar hace falta recurrir a las determinaciones del pensamiento y toman estas categorías, sin darse cuenta de ello, de la conciencia usual de las llamadas gentes cultas, dominada por los residuos de las filosofías desde hace largo tiempo olvidadas, del poquito de filosofía obligatoriamente aprendido en la Universidad (y que, además de ser puramente fragmentario, constituye un revoltijo de ideas de gentes de las más diversas escuelas y, además, en la mayoría de los casos, de las más malas), o de la lectura, ayuna de toda crítica y de todo plan sistemático, de obra filosófica de todas clases, resulta que no por ello dejan de hallarse bajo el vasallaje de la filosofía, pero, desgraciadamente, en la mayor parte -

(4) Citado por G.J. Whitrow; (1958), El Estudio de la Filosofía de la Ciencia, - suplemento del Sem. del Probl. Cientif. y Fil., No. 4, pp. 71-72.

(5) M. Bunge; La Ciencia, su método y su filosofía, Ed. Siglo veinte, B.A.S. p.134. (1973)

de los casos, de la peor de todas, y quienes más insultan a la filosofía son esclavos precisamente de los peores residuos vulgarizados de la peor de las filosofías" (6). Ya habrá ocasión de mostrar casos concretos de lo apuntado aquí por Engels. Así pues, la filosofía está presente en la ciencia, a pesar del rechazo que hagan de ella, verbalmente, algunos científicos, pues la ciencia no está fuera del contexto social y, por lo mismo, se encuentra sometida a las determinaciones de este contexto, especialmente a través de la filosofía. (*)

Siendo así, se puede decir que la filosofía afecta a la ciencia principalmente de dos maneras:

- A) Directa: mediante la lógica que, consciente o inconscientemente, aplica el científico durante su actividad (elaboración de hipótesis fundamentales, relación entre categorías, inferencias, etc).
- B) Indirecta: a través de las interpretaciones que el científico hace de determinados resultados de la ciencia a la luz de las categorías preconcebidas o prejuicios filosóficos, vigentes en una sociedad dada. Esta influencia es, en la mayoría de los casos, totalmente inconsciente.

De todo lo antedicho puede desprenderse que la filosofía ha de considerarse de dos maneras: como Ciencia y como Ideología.

1.2. LA FILOSOFÍA COMO CIENCIA. - El concepto de filosofía en este sentido, está claramente expresado por Eli de Gortari cuando nos dice que: "la filosofía es también una ciencia cuando establece explicaciones objetivas y racionales"

(6) F. Engels: (1961), Dialéctica de la Naturaleza, Ed. Grijalbo, México, p.177. (el subrayado es mío).

(*) A ello se refiere Engels cuando habla de las determinaciones del pensamiento o categorías.

nales del universo y procede, para formularlas, con el mismo rigor racional y estricta objetividad que emplean las otras ciencias en sus tareas" (7). En otra parte señala este autor: "Fundándose en la totalidad de los descubrimientos logrados por las otras disciplinas científicas, la filosofía desentraña - su generalidad, poniendo de manifiesto los enlaces que conectan a las diversas fases observadas en el desarrollo de cada proceso y en el desenvolvimiento de todos en conjunto, descubriendo las leyes generales en las cuales se expresan las relaciones y las acciones recíprocas operantes entre dichos procesos, y esclareciendo las coincidencias entre los distintos aspectos conocidos y la unidad de todo lo existente. Así, la ciencia de la filosofía tiene también su dominio particular: el conocimiento de lo general; es decir, el conocimiento de lo que es común a todos los procesos y, por consecuencia, existe en cada uno de ellos, sin excepción" (8). Otro aspecto de la filosofía como ciencia lo pone de manifiesto el citado autor, así: "La filosofía se ocupa, en primer lugar, de estructurar la concepción científica del universo. Esta tarea no consiste en la mera ordenación o agrupamiento de los resultados y las consecuencias obtenidas en las investigaciones científicas, sino en su interpretación crítica, armónica y organizada, para constituir con ellos la síntesis que representa nuestra imagen racional y objetiva del cosmos. Dicha síntesis es un conocimiento nuevo, en el cual quedan comprendidos los datos y experiencias parciales, sólo que superados y enriquecidos en virtud de su integración. Además, en el conjunto del universo se descubren propiedades que no es posible discernir en sus partes, y que únicamente surgen debido a su conjugación. En este sentido, la filosofía -

(7) E. de Gortari; (1972), Iniciación a la Lógica, Ed. Grijalbo, México, p.16 (el subrayado es mío).

(8) E. de Gortari; (1974), Introducción a la Lógica Dialéctica, Ed. F.C.E., México, p. 14 (el subrayado es de E. de Gortari).

realiza la importante tarea de encontrar y poner en claro esas propiedades que sólo existen en el conjunto del universo" (9).

Desde este punto de vista, la filosofía se divide en tres grandes ramas: materialismo dialéctico, lógica y materialismo histórico.

En la primera parte de la definición transcrita se establece la condición sine qua non para considerar como ciencia a la filosofía. Por lo tanto, no está incluida toda la filosofía en esa definición. Corresponde, entonces, hacer el análisis de la otra esfera de la filosofía.

1.3. LA FILOSOFIA COMO IDEOLOGIA.- En esta la noción más confusa y más complicada de la filosofía, tanto así, que muy a menudo se confunden haciendo de los términos "ideología" y "filosofía" expresiones con idéntico significado. A menudo se traducen ambas palabras como "concepción del mundo"; así, por ejemplo, Antonio Gramsci afirmaba que todos los hombres son filósofos (10) y el filósofo norteamericano Howard Selsam, declara que la filosofía es algo que todos poseemos. Sin embargo resulta erróneo, a mi juicio, reducir una a otra y, por ende, se requiere de una delimitación, que desde luego, no tiene un sentido absoluto.

Una filosofía o una ideología pueden ser, en sí mismas, una concepción del mundo, pero una concepción del mundo no forzosamente significa una filosofía o una ideología definidas.

a) Por concepción del mundo se entiende el conjunto de ideas y puntos de vista acerca de la naturaleza, la sociedad humana y el pensamiento; pero en la gran mayoría de los casos, se trata de un conjunto amasotado en el cual se encuentran elementos de todas clases, entre los que destacan aquellos de la

(9) E. de Gortari: (1965), Lógica General, Ed. Grijalbo, México, pp.11-12, (el subrayado es mío); y en op. cit. (5)

(10) A. Gramsci: (1972), Introducción a la Filosofía de la Praxis. Ed. Península, Barcelona, p. 11.

(11) H. Selsam: (1968), Qué es la Filosofía?, Ed. Grijalbo, México, p. 10.

ideología dominante además de los mitos más diversos provenientes de tradiciones ancestrales.

La concepción del mundo puede lícitamente identificarse con los términos "filosofía" e "ideología", cuando el conjunto de ideas y puntos de vista - que la componen está sistematizado e hilvanado de manera definida. Por lo tanto, es igualmente lícito hablar de una concepción científica del mundo, cuando es a partir de la ciencia que integramos esa concepción del mundo (supra I.1.2).

b) Hay casi tantos conceptos de ideología como autores han escrito de ella; la gran mayoría de dichos autores sólo han contribuido a confundirla más. En torno al concepto de ideología se han levantado enconados debates. Cabe destacar, además, que sobre la ideología se han lanzado todo género de denuestos y acusaciones, los cuales configuran un fenómeno que llamaría yo la satanización de la ideología, pues el sólo hecho de mencionarla escandaliza a no pocos filósofos o científicos.

En primer lugar, es necesario aclarar que la ideología adopta distintas formas de las cuales la filosofía es sólo una de ellas, la que a su vez mantiene a menudo lazos o relaciones con la ciencia. Por lo tanto, resulta terriblemente erróneo reducir la ideología a la filosofía y viceversa.

En segundo lugar, la oposición absoluta que de la ideología y la ciencia (o ideología y verdad) hacen diversos científicos (sociólogos, psicólogos, etc.) y filósofos es tremendamente simplista, como mostraré a continuación.

De acuerdo con Carlos Pereyra la ambigüedad del término "Ideología" - "proviene, por un lado, del hecho de que se utiliza una misma palabra como vehículo de dos conceptos diferentes pertenecientes a marcos teóricos distintos y, por otro lado, de la circunstancia por la cual se entremezcla confusamente lo -

significado por esos conceptos (...)" (12).

La polisemia del término se acentúa porque, a veces, se le usa con un significado distinto al que tiene (12). Los dos conceptos que denota el término no ideología, según Pereyra, son:

1) Concepto epistemológico (o gnoseológico)

2) Concepto sociológico

El primero pertenece a la teoría del conocimiento y el segundo a la teoría de la sociedad.

Por su parte, Adolfo Sánchez Vázquez caracteriza a la ideología, en términos generales, de la siguiente manera: "La ideología es: a) un conjunto de ideas acerca del mundo y la sociedad que: b) responden a intereses, aspiraciones o ideales de una clase social en un contexto social dado y que: c) guían y justifican un comportamiento práctico de los hombres acorde con esos intereses, aspiraciones o ideales. Esta definición amplia de la ideología toma en consideración tres aspectos fundamentales de ella: su contenido teórico (a), su génesis o raíz social (b) y su uso o función práctica (c)" (13). El contenido teórico es el aspecto gnoseológico o epistemológico de la ideología; dicho en otros términos, es el aspecto filosófico de la ideología. Así pues, "por su contenido (teórico) -nos dice Sánchez Vázquez- la ideología⁽⁶⁾ es un conjunto de enunciados que apuntan a la realidad, a problemas reales y entrañan explícita o implícitamente una valoración de ese referente real. Este contenido no es necesaria o totalmente falso; puede ser verdadero o contener elementos de verdad. Pero incluso en este último caso no se reduce a sus elementos puramente -

(12) C. Pereyra (1976), Ideología y Ciencia, Cuadernos Políticos No.10 pp.25-43.

(13) A.Sánchez Vázquez (1975), La Ideología de la Neutralidad Ideológica, en las Ciencias Sociales, Historia y Sociedad, No.7, pp.9-25, también publicado en la selección del Primer Coloquio Nacional de Filosofía: La Filosofía y la Ciencias Sociales, Ed. Grijalbo, colec.Teoría y Praxis, México, pp.287-313.

(6) El subrayado es mío.

teórico-cognoscitivos. Comprende juicios de valor, recomendaciones, exhortaciones, expresiones de desecho, etc." (op.cit.13). Por lo tanto, "caracterizar desde una perspectiva epistemológica a un discurso como "ideológico" no significa caracterizarlo simplemente como erróneo, sino indicar también las causas sociales por las cuales la falsedad no se reconoce como tal" (op.cit. 12).

En consecuencia, el contenido teórico (gnoseológico) de la ideología puede y debe ser contrastado con el contenido teórico de la ciencia, y sólo en este sentido es lícito hablar de la falsedad o verdad de una ideología, pues como señala Pereyra, desde el punto de vista sociológico, como un concepto perteneciente a la teoría de la sociedad, carece de sentido preguntar si una ideología es verdadera o falsa. Así, el contenido teórico de la ideología gira alrededor de los intereses, aspiraciones e ideales de una clase social históricamente determinada por el lugar que ocupa esa clase con respecto al poder y al sistema de relaciones de producción. Por otra parte, la ideología, a través de su contenido teórico, se destaca por la función práctica que ofrece como guía de la acción y del comportamiento de los hombres de una clase social; su función es justificativa y nunca explicativa (eso le corresponde a la ciencia). De esta manera, "mientras que la ciencia aspira a la verdad (representación o reproducción adecuada de lo real) y, de este modo, puede contribuir a la acción; la ideología tiende a cumplir ante todo su función práctica adecuando para ello, si es necesario, esa reproducción de lo real, su contenido (teórico o gnoseológico) (*) a ciertos intereses, aspiraciones o ideales, aunque esto se traduzca en la mayor parte de las ideologías de clase en un conflicto entre ideología y verdad" (op.cit.13).

De todo lo expuesto arriba se desprende que es insostenible, por falso y carente de sentido, el considerar a la ideología simplemente como total y necesariamente falsa y contraria a la ciencia, pues como señala atinadamente Sánchez -

(*) La nota entre paréntesis y el subrayado de la cita son míos.

Vázquez, esa "es una generalización ilegítima de una forma particular, concreta, de ideología"(ibid).

En consecuencia, se puede decir que la ideología tiene, ante todo, una significación política. Además, de acuerdo con la teoría marxista, es la forma típica de la conciencia social y, por ende, forma parte de la supraestructura de una sociedad, o mejor dicho, de una formación económico-social. La base sobre la que se erige esa supraestructura y con ella la ideología como uno de sus componentes, es la Estructura Económica o simplemente la base. En 1859 Marx explicó estupendamente esto :

"En la producción social de su existencia, los hombres entran en relaciones determinadas, necesarias, independientes de su voluntad; estas relaciones de producción corresponden a un grado determinado de desarrollo de sus fuerzas productivas materiales. El conjunto de estas relaciones de producción constituye la estructura económica de la sociedad, la base real, sobre la cual se eleva una superestructura jurídica y política y a la que corresponden determinadas formas de conciencia social. El modo de producción de la vida material condiciona el proceso de la vida social, política e intelectual en general. No es la conciencia de los hombres la que determina su ser; por el contrario, su ser social es lo que determina su conciencia. En una fase determinada de su desarrollo, las fuerzas productivas de la sociedad entran en contradicción con las relaciones de producción existentes, o, lo cual no es más que su expresión jurídica, con las relaciones de propiedad en cuyo interior se habían movido hasta entonces. De formas evolutivas de las fuerzas productivas que eran, estas relaciones se convierten en trabas de estas fuerzas. Entonces se abre una época de revolución social. El cambio que se ha producido en la base económico trastorna más o menos lenta o rápidamente toda la colossal superestructura. Al conside

rar tales revoluciones importa siempre distinguir entre la revolución material de las condiciones económicas de producción -que se debe comprobar fielmente - con ayuda de las ciencias físicas y naturales- y las formas jurídicas, políticas, religiosas, artísticas o filosóficas; en una palabra, las formas ideológicas bajo las cuales los hombres adquieren conciencia de este conflicto y lo resuelven" (14). En una de sus primeras obras, Marx y Engels aclararon acerca de las ideas o de la ideología, que "Las ideas de la clase dominante son las ideas dominantes de cada época; o, dicho en otros términos, la clase que ejerce el poder material dominante en la sociedad es, al mismo tiempo, su poder espiritual dominante. La clase que tiene a su disposición los medios para la producción espiritual, lo que hace que se le sometan, al propio tiempo, por término medio, las ideas de quienes carecen de los medios necesarios para producir espiritualmente. Las ideas dominantes no son otra cosa que la expresión ideal de las relaciones materiales dominantes, las mismas relaciones materiales dominantes concebidas como ideas; por tanto, las relaciones que hacen de una determinada clase la clase dominante son también las que confieren el papel dominante a sus ideas. Los individuos que forman la clase dominante tienen también, entre otras cosas, la conciencia de ello y piensan a tono con ello; por eso, en cuanto dominan como clase y en cuanto determinan todo el ámbito de una época histórica, se comprende de suyo que lo hagan en toda su extensión y, por tanto, entre otras cosas, también como pensadores, como productores de ideas, que regulen la producción y distribución de las ideas de su tiempo; y que sus ideas sean, por ello mismo, las ideas dominantes de la época" (15); y, en otro apartado señalan: "Como

(14) C.Marx (1970), Contribución a la Crítica de la Economía Política, Ed. Revolucionaria, Instituto Cubano del Libro, La Habana, prólogo, pp. 12-13.
El subrayado es mío.

(15) C.Marx-F.Engels (1973), La Ideología Alemana, Ed. Pueblos Unidos, Buenos Aires, pp. 50-51.

el estado es la forma bajo la que los individuos de una clase dominante hacen valer sus intereses comunes y en la que se condensa toda la sociedad civil de una época, se sigue de aquí que todas las instituciones comunes tienen como -mediador al Estado y adquirieron a través de él una forma política" (ibid. p.73).

Resumiendo, se puede decir que sobre la Base Económica se erige inmediatamente una supraestructura política encarnada por el Estado (el cual tiene carácter de clase) que es el organizador y coordinador de la sociedad, y el verdadero promotor de la ideología dominante. De este modo, en la sociedad dividida en clases se da una lucha en torno al Estado, que es la lucha de clases, una de cuyas manifestaciones es la lucha ideológica.

Finalmente, cabe citar aquí las palabras de Arnaldo Córdova al respecto:

"En el fondo, lo que hace que una ideología sea dominante es su capacidad para llevar a cabo la lucha permanente con sus amigos y sus enemigos, y esto en todos los niveles y en todos los órdenes de la vida social, lo mismo en el ámbito de las relaciones de producción que en el de las instituciones intermedias y que en el Estado" (16).

c) Vayamos ahora al terreno de la filosofía como forma ideológica y su interacción con la ciencia y con otras manifestaciones de la ideología.

Ha señalado, en el apartado "b" de este párrafo, que la filosofía propiamente forma parte de toda ideología, es su elemento teórico por antonomasia; así, toda doctrina política, jurídica o cualquier otra, tiene una filosofía que la fundamenta o intenta hacerlo y, sobre todo, que la justifica.

Pero es necesario diferenciar a ese elemento filosófico componente de toda ideología, de la filosofía propiamente dicha, que como todas las otras formas ideológicas mantiene cierta independencia.

(16) A. Córdova (1976), Política e Ideología Dominante, Cuadernos Políticos, No.10 pp. 33-43, (subrayado mío.)

Como la supraestructura política (el Estado) es la que se levanta directamente sobre la base económica, resulta que dicha supraestructura es la fundamental sobre la cual, a su vez, se constituyen el resto de las supraestructuras (jurídica, moral, etc.), a las cuales corresponden determinadas formas de la conciencia social (formas ideológicas). Así pues, tenemos ideologías políticas, jurídicas, morales, artísticas, filosóficas y religiosas, fundamentalmente, según sea su alejamiento de la base económica o, más directamente, de la supraestructura política. Así, por ejemplo, las ideas artísticas, filosóficas y religiosas aparentan no tener nada que ver con las cuestiones económicas o políticas de un organismo social determinado; presentan la apariencia de ser ajenas a la vida material de la sociedad y, sin embargo, están sujetas en última instancia a ella. Por otra parte, cabe señalar que todas las formas ideológicas se condicionan recíprocamente, en mayor o menor grado, y además interactúan con la base económica, pero el papel rector dentro de las formas ideológicas lo desempeñan la ideología política y la jurídica que son sobre las que incide directamente la estructura o base económica, (17) o como decía Engels: (...) "son los reflejos políticos, jurídicos, morales, los que en mayor grado ejercen una influencia directa sobre la filosofía" (18).

Ahora bien, si como se ha visto la filosofía constituye una parte fundamental de toda forma ideológica (aspecto teórico de la ideología), se desprende de suyo que todas las formas ideológicas vierten su contenido esencial en la filosofía, de manera tal que ésta viene a ser un verdadero compendio de la ideología, además de ser la única esfera ideológica capaz de mantener contacto directo

(17) V.P. Rozhin (1967), Introducción a la Sociología Marxista, Ed. Fondo de Cultura Popular, México, pp. 93-266.

(18) Carta de Engels a K. Schmidt del 27 de nov. de 1890, en: C. Marx-F. Engels - (1971), Obras Escogidas, Ed. Progreso, Moscú, Tomo 2, p. 498.

o indirecto con la ciencia a la cual influye y de la cual recibe influencia. Se puede decir, metafóricamente, que la filosofía es la aguja hipodérmica mediante la cual se inyecta la ideología a la ciencia y, asimismo, se extraen de ella elementos valiosos que pueden contribuir a la conformación ideológica.

Precisamente lo que interesa aquí es esa relación que guarda la filosofía como forma ideológica con la ciencia,

1.4. CIENCIA E IDEOLOGIA.- A primera vista el concepto de ciencia parece exento de toda confusión, pero nada es más engañoso que esa apreciación pues hay casi tantas concepciones de la ciencia como las hay de la filosofía. Todo ello resulta del hecho de que también, como la filosofía, la ciencia es un producto social determinado históricamente y, por lo mismo, sujeto a incesantes transformaciones. De igual modo, la diferencia entre ciencia e ideología (supra, I.1.3b) aparta una fácil determinación. Así, por ejemplo, cualquier definición de la ciencia, ya sea expresada por un científico o por un filósofo, entraña siempre una concepción filosófica o ideológica particular. Efectivamente no es lo mismo el concepto de ciencia para un existencialista que para un positivista, un escéptico o un marxista; cada uno tiene un concepto distinto de ella según la filosofía que adopte.

Esto nos lleva a rechazar nuevamente (supra, I.1.3b), el simplismo pueril y vulgar de reducir la relación ciencia e ideología a la relación ciencia y pseudo-ciencia, tal como lo hacen los puritanos a quienes escandaliza el término "ideología". Me refiero aquí, especialmente a las apreciaciones de Louis Althusser (19) y sus seguidores, cuya concepción abstracta de la ciencia los lleva a "emprender" - constantes "purgas" para expulsar los elementos ideológicos que se encuentren -

(19) L. Althusser (1975), Curso de Filosofía Marxista para Científicos, Ed. Diez, Buenos Aires, pp.13-27. Un Excelente resumen de este libro se encuentra en: Historia y Sociedad, No. 4 (Invierno de 1974), pp.52-60. Véase también: L. Althusser (1970), Lenin y la Filosofía, Ed. Era, México, pp. 68-69. En estas obras el autor llega al extremo simplista de reducir la ideología al idealismo que es una de las formas fundamentales de la filosofía.

ocultos en la ciencia, y de esta manera, rescatar o mantener a la "ciencia pura". Estas "purgas" en la ciencia serían llevadas a cabo por una especie de "policía teórica", la filosofía (marxista, según Althusser). Esto es, en otras palabras - (perdonando lo metafórico de ellas), lo que se desprende de las tesis de Althusser acerca de la interrelación ciencia e ideología. Estrechamente cercana a estas ideas, es la opinión del neopositivista Karl R. Popper, quien mediante su "criterio de demarcación" pretende delimitar a la ciencia y a la pseudociencia (20).

Empero, ¿existe en realidad la "ciencia pura", ideológicamente neutral? Otra vez la apariencia nos conduce a responder afirmativamente y de nuevo nos conduce al error. En verdad pensar en la "ciencia pura" es lo mismo que pensar en la ciencia fuera de la realidad social, fuera de este mundo como algo caído del cielo; se trata pues, de una auténtica mistificación positivista de la ciencia. Si consideramos que toda la práctica científica es un caso particular de la práctica social, cuya forma básica es la producción material, y si sobre esa forma básica se levanta una superestructura en la cual se inserta la ideología, se ve entonces, claramente, la falacia que entraña el concepto de "ciencia pura"; esta afirmación, desde luego, tiene carácter general, no hace ninguna referencia a un campo específico de la investigación científica que puede ser absolutamente ajeno a la ideología (*infra*, p.20); tampoco se refiere a la llamada ciencia básica. Un científico, por lo regular, hace abstracción de la problemática social en la cual, por necesidad, se inserta su trabajo, subjetivamente se puede apartar de ella, pero objetivamente su quehacer existe por y para esa sociedad determinada de antemano.

Realmente, la ciencia nació como parte indivisa de la filosofía, mezclada con mitos y diversas ideologías; era pues, una componente no muy definida de

(20) K.R. Popper (1973), La Lógica de la Investigación Científica, Ed. Tecnos. Madrid p. 33-35.

la conciencia social y por ende de la supraestructura social. Bajo tales condiciones, durante la Antigüedad apenas lograron independizarse embrionariamente algunas ciencias debido a las necesidades de la vida material, como la agricultura, el comercio y la navegación, las que impulsaron el nacimiento y el desarrollo de la astronomía (que no se diferenciaba claramente de la astrología), la aritmética y la geometría. En la Edad Media la ciencia quedó prácticamente reducida a su mínima expresión, pues estuvo supeditada a los dogmas religiosos y a la filosofía teológica que justificaban el sistema social imperante. La ciencia se consolida, sin duda alguna, hasta la Epoca Moderna, y especialmente gracias a la Revolución Industrial; a partir de ésta la ciencia se transforma, verdaderamente, en una fuerza productiva (*). Esto quiere decir que hasta la revolución Industrial la producción no debía nada a la ciencia, en cambio ésta debía todo a aquélla (22).

Se ha visto, además, cómo la ciencia estuvo gravitando en torno a las distintas ideologías de las diferentes etapas históricas de la sociedad, participando, naturalmente, en las luchas ideológicas, sobre todo a partir del Renacimiento que marcó el inicio del ascenso de la burguesía. Efectivamente, en aquel entonces la ideología burguesa se fundamentó en la ciencia natural para combatir a la ideología religiosa que justificaba el orden feudal imperante; basta citar los nombres de Francis Bacon, Giordano Bruno, Nicolás Copérnico y Galileo Galilei para respaldar esta afirmación. Lo mismo puede decirse de las épocas posteriores, sobre todo en Francia a fines del siglo XVIII, en donde la lucha de clases se intensificó como nunca se había dado antes, reflejándose de manera especial en la lucha ideológica en la que la ciencia jugó, nuevamente, un papel decisivo. Y no se puede afirmar que esta interacción ciencia e ideología haya terminado

(*) Me refiero, desde luego, a la ciencia natural solamente.

minado, al contrario, se ha intensificado desde el siglo pasado hasta nuestros días; prueba de ello han sido los casos de Lamarck, Darwin, Clausius, Mach, Bohr, Heisenberg, Einstein y otros más.

En los últimos cien años se ha visto una constante y rápida incorporación de la ciencia natural al proceso productivo; la ciencia se ha transformado, cada día más, en una fuerza productiva esencial, por ello a medida que transcurre el tiempo se hacen más sensibles sus repercusiones sobre la sociedad, todo lo cual implica que se vea involucrada directamente en el sistema económico vigente y en la política. La ciencia se ha transformado en un asunto de Estado (21), en una institución (22). Así pues, la dependencia de la investigación científica respecto del poder público (el Estado) hace inevitable su relación directa con la política y por ende con la ideología dominante. Aquí se pone de manifiesto, hoy más que nunca, el carácter clasista que tienen el uso y manejo de la ciencia. Los hechos anteriores no implican, por otra parte, que haya de aceptarse sin más a todo elemento ideológico dentro de la ciencia, ni que deba consentirse en la tergiversación del conocimiento científico por parte de la ideología. Compete asimismo a la propia ciencia, descubrir y rechazar cualquier falsificación ideológica. Pero es necesario reconocer también lo apuntado por Pereyra, (12) que "Los problemas que se suscitan en el interior de una ciencia, las preguntas que se plantean a ésta, pueden tomar su origen en las ideologías socialmente prevalentes". Un caso perfectamente ilustrativo de esta declaración lo es el problema del origen de la vida, ya que este problema ha sido planteado por las distintas escuelas filosóficas o diversas ideologías y ha sido parte de la lucha ideológica mucho antes que existiera la ciencia como tal, y con mayor anterioridad a la existencia de la Biología.

(21) J.J. Salomon (1974), Ciencia y Política, Ed. Siglo XXI, México.

(22) J.D. Bernal (1972), La Ciencia en la Historia, Ed. UNAM, México, pp. 41-46.

Todo lo anterior, trae consigo que el ambiente ideológico de una sociedad dada puede estimular o puede obstaculizar el desarrollo científico (23). La sociedad capitalista, por ejemplo, estimuló especialmente a la ciencia natural, pero ha obstaculizado a la ciencia social. Del mismo modo, "la ciencia destruye concepciones establecidas y fundamenta otras" (23). Pero tenemos que entender todo esto desde una perspectiva histórica, tal como lo explica John D. Bernal: "Cuando las relaciones de producción están cambiando con rapidez, como ocurre - cuando una nueva clase social se está colocando en posición dominante, existe un incentivo especial para la realización de adelantos en la producción que acrecientan la riqueza y el poder de esa clase, y la ciencia tiene gran demanda. Una vez que dicha clase se ha establecido y fortalecido suficientemente para impedir el crecimiento de un nuevo rival, el interés se dirige al mantenimiento de las cosas tal como están - las técnicas se hacen tradicionales y la estimación por la ciencia disminuye" (22) (*). Situación que de la manera mas clara se ha revelado en la etapa capitalista que ahora vivimos en el mundo occidental.

Concluyendo: en la actualidad la ideología como forma típica de la conciencia social es inseparable, en última instancia, del conocimiento científico, aunque en principio sus funciones sean distintas, pues como señala Rozhin: "La conciencia social ha surgido a la par que el conocimiento de la naturaleza (...) y es lógico: puesto que los hombre no pueden entrar en relación con la naturaleza, sin relacionarse unos con otros, tampoco pueden ser conscientes de sus relaciones con la naturaleza, sin tener conciencia de sus relaciones entre sí" (op. cit. 17; p.245). Esto no trae aparejado que toda la ciencia, en todo su contenido, está impregnada por la ideología. Si una ciencia particular versa sobre algún

(23) S. Iglesias (1972), Ciencia e Ideología, Ed. Universidad Autónoma de Nuevo León, Monterrey, p, 92.

(*) page. 63-64, véase, especialmente, lo que este autor dice sobre los aspectos de la ciencia en el capítulo introductorio.

tópico fundamental o general (la materia, la energía, la vida, la evolución, el universo), al cual se relaciona directa o indirectamente con una determinada - concepción del mundo, entonces esa ciencia se impregna especialmente de contenido ideológico y se torna polémica, y de igual modo, si determinada ciencia pone al descubierto las relaciones de producción vigentes y sus causas (que sería el caso de las ciencias sociales), adquiere por eso inevitablemente un carácter - ideológico acentuado. Es por ello completamente insostenible la concepción simplista de Althusser (19), Châtelet (24), Lefebvre (25) y otros, de que la ciencia y la ideología no pueden conciliarse de ningún modo so pena de dejar de ser lo que son. Según ellos, la ciencia representa la verdad y la ideología la falsedad. Este equívoco pueril ha nacido, sin duda alguna, de una lectura escolástica de Marx influenciada por el positivismo. Hemos visto que tanto la ideología puede tener carácter científico sin dejar de ser ideología, como la ciencia puede tener carácter ideológico sin dejar de ser ciencia. Durante el Renacimiento la Astronomía ostentaba un cariz ideológico acusado, mismo que ahora presentan las ciencias sociales y la filosofía.

Pero la relación que tiene la ideología con la ciencia es sólo una de sus facetas y no la única, como los citados autores pretenden hacer creer (*infra*, I.1.3b).

1.5. EL ORIGEN DE LA VIDA: PROBLEMA COMUN DE LA FILOSOFIA Y LA CIENCIA.-

Ha sido necesario todo este rodeo para ubicar nuestro problema en toda su dimensión. He mostrado que la forma como se relaciona la ideología con la ciencia es mediante la filosofía. Pero, amén de ser la forma típica de la ideología, la filosofía también puede considerarse como ciencia.

Como resultado del análisis realizado se puede concluir que el problema -

(24) F. Châtelet; (1968), Ideología y Verdad, Ed. Carlos Pérez, colec. Ideas de Hoy, Buenos Aires, pp. 41-62.

(25) H. Lefebvre (1968), Ideología y Verdad, ed. cit., pp.19-40, véase también: H. Lefebvre (1972) Lógica formal, Lógica Dialéctica, Ed. Siglo XXI, Madrid, pp. 32-35.

del Origen de la Vida no ha dejado de ser un problema filosófico, aunque ahora esté abordado por la ciencia natural.

El Origen de la Vida es un problema filosófico por las siguientes razones:

- a) Forma una parte esencial de toda concepción del mundo.
- b) Atañe, por tanto, al problema filosófico fundamental.
- c) Ha sido un elemento central de la lucha ideológica.

Es, igualmente, un problema científico porque:

a) Es la consecuencia lógica e ineludible de la teoría biológica fundamental: la Teoría de la Evolución.

b) Ya no es posible estudiar los procesos biológicos sin ligarlos, de una u otra forma, con el origen de la vida; es decir, la naturaleza esencial de la vida -que es el problema central de la Biología- sólo puede comprenderse a la luz de su origen (26).

c) La biología ya no puede eludir este problema sin comprometer su propio desarrollo.

ch) Al implicar la evolución previa del mundo inanimado resulta ser el elemento indispensable para constituir una auténtica síntesis científico-natural: la imagen histórica de la naturaleza.

d) Satisface la aspiración de toda la ciencia natural al sentar las bases firmes para su verdadera unificación, ya que por la propia naturaleza del problema, se ven involucradas de manera decisiva y complementaria otras ciencias naturales además de la Biología, tales como la Astronomía, la Física, la Química, la Geología, la Geofísica y otras. Es decir, se tiene por primera vez una base sólida para la integración de toda la ciencia natural.

e) Es una piedra angular para una concepción científica del mundo.

(26) A.I. Oparin, ed. (1959), The Origin of Life on the Earth, Pergamon Press, Oxford p.368.

El último inciso (e) tiene que ver también -y nuevamente- con la filosofía, pues como se recordará (supra, I.1.2), el objeto de la ciencia filosófica es integrar una imagen científica del mundo.

2. MATERIALISMO E IDEALISMO.

Desde los comienzos de la filosofía se han definido dos concepciones, - dos alternativas o dos partidos (27) según la respuesta que se diera al problema filosófico fundamental: el problema de la conciencia y el ser o la relación - entre el pensar y el ser (28), es decir, la relación entre lo que se denomina pensamiento, razón, idea, espíritu o mente con aquello (el ser) que denominamos materia o naturaleza. ¿Se trata en realidad de dos entidades distintas, paralelas?, o ¿precede una a la otra? ¿si éste fuera el caso ¿qué fue primero: la mente o la naturaleza, la idea o la materia? Si se responde afirmativamente a la primera cuestión entonces se es dualista (dualismo), pero la historia de la filosofía demuestra la inconsecuencia del dualismo, pues termina siempre en un verdadero monismo. En el segundo caso (las dos preguntas siguientes), se pueda responder de dos maneras: 1) la materia, la naturaleza o el ser fue primero, la mente, - la idea o el pensamiento resultan o son manifestación de la anterior; 2) la mente, la idea o el pensamiento fue primero, y la materia, la naturaleza, es una manifestación o un producto del espíritu o la razón. Si la respuesta es (1), entonces se trata del materialismo; si es la (2), se trata del idealismo. Todas las escuelas o doctrinas filosóficas de la historia pertenecen a uno u otro partido; es decir, o son materialistas o son idealistas. El llamado monismo neutral, fundado por Bertrand Russell (3), según el cual "tanto la mente como la materia son - formas compuestas de materiales más primitivos que no son ni mentales ni materia-"

(27) V.I.Lenin (1974), Materialismo y Empirio-crítico, Ed. Progreso, Moscú, pp. 350-362.

(28) F.Engels (1971), Ludwig Feuerbach y el Fin de la Filosofía Clásica Alemana, en C.Marx-F.Engels, Obras Escogidas (2 tomos), Ed. Progreso, Moscú, Tomo II, p. 367.

les" (op.cit.p. 617); es un vano intento para superar la contraposición idealismo-materialismo; se trata en realidad de una forma de dualismo, que como he dicho, termina siendo un monismo a la manera tradicional (materialista o idealista) (infra, c.III.).

De esta manera, "toda concepción del mundo más o menos consecuente parte necesariamente del reconocimiento de la prioridad de un principio, ya sea la materia o el espíritu " (29).

Se puede decir, en pocas palabras, que el materialismo ha estado vinculado a la ciencia en tanto que el idealismo se ha supeditado a la religión; no por casualidad, ciertamente, Bertrand Russell afirmaba: "La filosofía ha estado estrechamente unida a la ciencia por un lado y a la religión por el otro" (30). Frecuentemente es difícil advertir a simple vista el nexo de una doctrina filosófica con la religión, es más, generalmente esa conexión se da a través de verdaderos embrollos lingüísticos (infra, c.III).

" La unidad real del mundo reside en su materialidad", escribía Engels (31), y con esta declaración Engels sintetizó cabalmente la tesis materialista de la filosofía. Para el idealista, en cambio, las ideas son las creadoras de la realidad, del mundo.

3.- MECANICISMO Y VITALISMO

En su devenir histórico, a cada una de las ciencias ha correspondido alguna forma particular de los dos bandos o partidos de la filosofía antes mencionados, que se revelan especialmente a través de las interpretaciones de los resultados obtenidos por las investigaciones que tienen cierta trascendencia o ante los problemas aún no resueltos en una ciencia particular.

Especialmente importantes han sido las manifestaciones del idealismo y el mat-

(29) F.V. Konstantinov (1962), Fundamentos de la filosofía Marxista, Ed. Grijalbo p.11

(30) B. Russell (1963), Ensayos Impopulares, Ed. Hermes, Buenos Aires, p.11.

(31) F. Engels (1963), Anti-Dühring, Ed. Grijalbo, México, pp. 30-31.

rialismo en la Física y la Biología. Así, se habla del idealismo o el materialismo físicos y del idealismo o del materialismo biológicos. El materialismo biológico lo mismo que el físico han sido conocidos bajo el nombre común de mecanicismo, y el idealismo biológico como vitalismo.

El mecanicismo nació oficialmente a raíz del gran desarrollo alcanzado por la mecánica en los siglos XVII y XVIII, pero sus antecedentes se remontan hasta la Antigüedad.

Originalmente el mecanicismo se caracterizaba por la reducción que hacía de todos los procesos o fenómenos conocidos entonces -en especial los biológicos,- a las leyes puramente mecánicas. En el siglo XIX se identificaba al mecanicismo con aquella doctrina que reduce los fenómenos o procesos biológicos a las leyes de la física o de la fisicoquímica. Es decir, para un mecanicista no existe una diferencia real, cualitativa, entre los seres inertes y los seres vivos; no existen, en consecuencia, leyes biológicas específicas, sólo existen leyes físicas o, a lo sumo, leyes fisicoquímicas.

Con reacción contra los simplismos y exageraciones del mecanicismo, surgió el vitalismo, que interpretaba a los procesos biológicos como absolutamente específicos y, por tanto, irreducibles a fuerzas mecánicas o a leyes físicas. En pero, para los vitalistas, además, los seres vivos son entidades cualitativamente distintas en virtud de una fuerza o principio vital que vivifica a la materia. Es to último pone de manifiesto el nexo que guarda el vitalismo con la religión, de cuyo seno han surgido no pocos de los más connotados portavoces de dicha doctrina (infra, c.III).

El nacimiento del marxismo marca el inicio de una filosofía que supera las irremediables limitaciones y contradicciones del materialismo metafísico (mecanicismo), así como las místicas aberraciones del vitalismo. Esa filosofía es el materialismo dialéctico, la única filosofía científica en los términos definidos antes (supra, I.1.2)

Por consiguiente, rechazo todo intento de reducir el materialismo dialéctico a una supuesta "teoría" que solamente dicta "tesis" para deslindar lo ideológico de lo científico, tal como lo concibe Althusser (19), y sus discípulos. No se trata de ningún añadido tardío de Engels al marxismo, como señalan Althusser y toda laya de antimarxistas (*); el materialismo dialéctico está implícito en toda la obra de Marx aunque jamás lo haya mencionado textualmente; además, Marx leyó el manuscrito del Anti-Dühring (31), y estuvo de acuerdo con todo su contenido (véase el prólogo de la obra citada). Si aceptamos la tesis althusseriana de que lo único legítimo y científico del marxismo es el materialismo histórico, entonces surgen cuestiones como las siguientes: ¿Cómo surgió el hombre y la sociedad humana?, ¿Cuál es el eslabón entre la naturaleza y la sociedad humana?. Sólo una teoría congruente con el materialismo histórico puede responder a estas preguntas. El eslabón entre la naturaleza y la sociedad tuvo que darse en un momento del desarrollo de la vida sobre la Tierra, y obviamente no pudo ser más que de carácter dialéctico. El materialismo dialéctico es la consecuencia lógica del materialismo histórico tal como el origen de la vida es la consecuencia lógica de la teoría de la Evolución. Arrancar al materialismo dialéctico y desecharlo del esquema marxista es dejar al materialismo histórico en el vacío, es desarticular al marxismo.

Por otra parte, la ciencia implica el materialismo dialéctico como el habla común implica la prosa, aunque generalmente no nos percatemos de ello, y este trabajo va encaminado a demostrarlo.

En general, abundan los trabajos con enfoque materialista dialéctico sobre la Física, pero en cambio hay una escasez alarmante de ellos en el campo de la Biología, aunque existen algunos en relación al problema del origen de la vida.

(*) No quiero decir con esto que Althusser sea un antimarxista en el sentido literal e intencionado de la palabra.

en mi opinión no son suficientes y generalmente son de muy limitada riqueza filosófica. Urge, pues desarrollar este campo casi inexplorado por el materialismo dialéctico.

Como he mostrado en esta introducción, por la índole misma del problema de la biogénesis o biopoyesis, no es posible desligar su aspecto científico del aspecto ideológico.

Con suma frecuencia hay confusiones, cuando no un absoluto desconocimiento, de las bases filosóficas de las teorías más diversas dentro de la Biología. No se encuentra en la literatura ningún análisis más o menos completo e integrado de las corrientes vitalistas y mecanicistas, sobre todo las contemporáneas y sus nexos con la filosofía dominante actual: el positivismo, cuyas repercusiones sobre el pensamiento biológico son enormes y nocivas. Esto es igualmente cierto en el caso del origen de la vida, pese a que Oparin le dedicó buena parte de su obra a tratar el aspecto filosófico del problema, ésta es muy esquemática y superficial, por lo que resulta insuficiente. En tal virtud, es imperativo rebasar ese marco para beneficio del propio estudio científico de la biogénesis.

Dada la índole de este Trabajo es imposible tratar en él todo lo inherente a la biogénesis o biopoyesis, en consecuencia, se tratan los aspectos de mayor relevancia desde el punto de vista filosófico y científico. Exponiéndose el asunto bajo tres enfoques: el histórico-filosófico, el experimental y el especulativo.

El presente trabajo no aspira a llenar huecos, simplemente pretende ser una modesta contribución, esclareciendo algunos puntos fundamentales y tratando de ubicar al estudiante de Biología ante esta vasta problemática.

CAPITULO II

"Sin descubrir los fundamentos reales de la situación histórico-social no hay análisis científico posible".

G. Lukács.

CONCEPCIONES SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA A TRAVES DE LA HISTORIA.

1.- La Generación Espontánea.

En la actualidad son todavía muchas las personas que tienen ideas tales como las siguientes: si abandonamos un trozo de carne o un cadáver de algún animal, a los pocos días brotarán de ellos gusanos como resultado de la putrefacción; si le damos de comer pan a un perro se formarán lombrices en su intestino; que las ranas y los sapos se forman espontáneamente en las charcas o en los lagos durante la época de lluvias; que los ratones viejos se transforman en murciélagos, etc., etc. Si bien es cierto que estas ideas se encuentran especialmente difundidas entre las personas que no han tenido la oportunidad de una instrucción básica, también es cierto que no son pocos los estudiantes de nivel medio superior, y hasta gentes con preparación universitaria, que creen en algunos casos de generación espontánea.

Se trata en realidad, de ideas extraordinariamente arraigadas cuyo origen se pierde en la lejanía de los siglos, razón por la cual la gente toma esas creencias como hechos indiscutibles. Sin duda alguna, pocas ideas han perdurado tanto en la historia de los hombres como la idea de la generación espontánea. Seguramente la creencia en la posibilidad de formación de seres vivos a partir de materia inerte (*) o de cadáveres se remonta hasta la época del hombre primitivo, quizá a principios del Neolítico o a fines del Paleolítico; desde luego, -

(*) La palabra abiogénesis se acostumbra emplear como sinónimo de generación espontánea, aunque en una nota reciente (1976), Pirie señala que es una palabra fea a pesar de que no tiene significado ambiguo. Véase Pirie, N.W. (1976) Terminology in Origin of Life Studies, Origins of Life, 7(1), 69. No obstante aquí seguiré la costumbre establecida.

de ello no tenemos pruebas fehacientes. Los relatos más antiguos de que disponemos provienen de las primeras civilizaciones y de algunas culturas primitivas actuales.

2. ANTIGUEDAD. PRIMERAS CIVILIZACIONES. -

2.1. PENSAMIENTO MITICO. - Las ideas más viejas que conocemos acerca de la generación espontánea están expresadas en los diversos mitos que la antigüedad heredó de la etapa histórica anterior: la sociedad gentilicia; y ello es lógico, pues la sociedad antigua se edificó sobre las bases culturales y los logros alcanzados por esta sociedad (época de la barbaria).

Se puede decir que la mitología es la forma fundamental de la concepción del mundo en las etapas más remotas del desarrollo social, limitado por la extrema pobreza de las fuerzas productivas disponibles. Igualmente, se puede asegurar que la mitología, como una concepción del mundo, alcanza su apogeo en la - - Edad Antigua.

El pensamiento mítico consiste en la personificación de las fuerzas de la naturaleza y aunque tiene carácter profundamente metafórico y fantástico, no rebasa nunca los marcos de una representación puramente sensorial. El mito es, pues, el resultado de la experiencia sensorial cotidiana revestida con el lenguaje y la interpretación de la fantasía ingenua. No podía ser de otro modo dado lo exiguo del desarrollo social. En el mito, en consecuencia, no hay nada sobrenatural, pues sus generalizadas imágenes están enraizadas en la realidad, en lo concreto. Así, la tierra para los griegos antiguos no cae en el vacío porque la sostiene Atlas, o bien, como pensaban los indios o hindúes, estaba apoyada en una tortuga gigantesca.

De todo lo anterior se desprende que es erróneo considerar a la mitología como pensamiento carente de lógica (extralógico y prelógico). " La lógica del pen

samiento mítico nos ha parecido tan exigente como aquella sobre la cual reposa el pensamiento positivo y, en el fondo, poco diferente. Porque la diferencia no consiste tanto en la cualidad de las operaciones intelectuales, cuanto en la naturaleza de las cosas sobre las que dichas operaciones recaen (...), una hacha de hierro no es superior a una hacha de piedra porque esté mejor hecha que la otra. Ambas están igualmente bien hechas, pero el hierro no es la misma cosa - que la piedra", nos dice Lévy-Strauss (1) (*).

Por otra parte, en el pensamiento mítico notamos algo que para nuestro caso tiene la mayor importancia, y es que en la mitología todo lo que existe en el mundo está vivo, tiene vida. La Tierra misma, el Sol, son seres vivos (primero identificados con animales y luego con seres humanos, que después fueron deificados). No cabe, por lo tanto, plantearse en el contexto mitológico la dualidad vida-no vida porque tal cosa carece de sentido. De modo que la preocupación central del mito, la cual tiene un sentido cosmológico, atañe por igual al origen de la naturaleza y al origen del hombre, lo que se conoce como la indivisibilidad del mito cosmogónico y el etnogenésico.⁽²⁾ Por consiguiente, el origen de la vida está implícito, cuando no explícito, en toda la mitología.

En Egipto, nos cuenta el poeta latino Ovidio, "cuando el Nilo de siete bocas ha abandonado los campos inundados y ha devuelto sus aguas a su antiguo lecho, cuando el limo reciente se calienta por el astro del día, los labradores, al remover el terreno, encuentran muchísimos animales y entre estos ven a algunos en

(1) C. Lévy-Strauss (1976), Antropología Estructural, Ed. Univ. de Buenos Aires, Buenos Aires, p. 210.

(*) Por otra parte, es necesario señalar que Lévy-Strauss minimiza los logros alcanzados por el pensamiento humano, que superó la espontaneidad, ingenuidad y limitaciones del pensamiento mítico, al grado de considerarlos casi idénticos, todo lo cual contradice el párrafo citado aquí.

(2) Citado por Akbar Tursunov (1975), Del mito a la Ciencia, Ed. Pueblos Unidos, Buenos Aires, p. 26.

el instante mismo en que están naciendo, algunos a medio formar, faltándoles algunos de sus miembros; a veces en el mismo cuerpo ven una parte con vida y otra que es todavía vida deforme. En efecto, cuando la humedad y el calor se combinaban el uno con el otro, conciben, y de estos dos principios nacen todas las cosas animadas" (3). Aquí está claramente expuesta la idea de la generación espontánea, y la interpretación que Ovidio hace al final del párrafo no puede decirse que sea original. Efectivamente, tales ideas eran mucho más antiguas. El pueblo egipcio pensaba que en el lodo producido por el Nilo, mediante el calor solar, podían engendrarse toda clase de animales (lombrices, insectos diversos, caracoles, ranas, sapos, serpientes y, hasta cocodrilos!).

Al analizar los mitos egipcios sobre la creación, vemos que se trata en realidad del nacimiento del mundo a semejanza de la formación del suelo egipcio por el Nilo (4). Así, en el Libro de los Muertos se dice: "Es el agua, el abismo caótico de donde todo surge; es el origen de toda deidad" (5). Estos mitos - junto con los de la Mesopotamia pasaron, con algunas modificaciones, al relato bíblico del Génesis, que es el mejor conocido en nuestra sociedad, según el cual el mundo y los seres vivos fueron creados, súbitamente, por la mano de Yahvé o Jehová (dios único de los judíos), en seis días.

Particularmente importante para nosotros es el pensamiento cosmogónico, mítico, de las antiguas culturas de América, en especial lo que se conoce como Mesoamérica (parte central y sur de México, Belice, Guatemala y Honduras). De esta superárea geográfico-cultural (6) son especialmente importantes para este trabajo los mitos cosmogónicos de los mayas y de los nahuas; estos últimos representados

(3) Publio Ovidio Nasón, Las Metamorfosis, Ed. Porrúa, coluc. Sepan Cuántos, México pp. 10-11.

(4) J. Yoyotte (1976), El pensamiento prefilosófico en Egipto, en Brice Parain (ed) Historia de la Filosofía, Siglo XXI, México, p. 13.

(5) En: 1976, Voces de Oriente, selección y traducción de Angel Ma. Garibay, Ed. - Porrúa, colec. "Sepan Cuántos", México, p. 159.

(6) I. Bernal (1974), Introducción a las Epocas Preclásica y Clásica, en: M.L. Portilla et al. (1974), Historia de México, Ed. Salvat, México, vol. 1, pp.122.

principalmente por los mexicas o aztecas.

Casi todos los libros o códices mayas fueron destruidos por los conquistadores españoles, de manera que no contamos con fuentes originales, fidedignas, de los mitos cosmogónicos, a no ser los fragmentos, seguramente adulterados, que se conservan en el Popol Vuh y en algunos libros del Chilam Balam. Los demás mitos mayas que hasta ahora se conocen, hablan, al igual que el Popol Vuh, de la existencia anterior de otros mundos o edades que fueron destruidos por determinadas catástrofes.

La mitología náhuatl es la que más se conoce porque se poseen mayores documentos y muestras de ella, gracias a la mitología mexicana.

Lo más seguro es que la mitología azteca tenga sus remotos orígenes en la mitología teotihuacana y, directamente, en la tolteca.

Encontramos en los mitos cosmogónicos mexicas que el mundo actual fue precedido de otros cuatro mundos o edades, que los aztecas llamaban "soles".

Las más antiguas tradiciones nahuas relatan que la tierra, originalmente, era un gran lagarto(*) que vivía en el mar primordial al cual Quetzalcóatl y Tēzcatlipoca (**) hicieron bajar del cielo para formar con su cuerpo las montañas y los valles, los ríos y las plantas (7). De la misma forma fueron creados Oxomoco y Cipactónal, hombre y mujer, semidivinos y mágicos de quienes nacerían los macehuales (hombres del pueblo), a los que se les ordenó "que labrasen la tierra, y que no holgasen sino que siempre trabajasen" (7,8).

(*) Algunos también lo interpretan como un "gran sapo" o como un caimán (Cipactli).

(**) En una versión posterior Tezcatlipoca fue substituido por Huitzilopochtli, el dios tribal de los aztecas. También desde épocas remotas Tlaloc substituyó a uno de los Tezcatlipocas (rojo).

(7) W. Krickeberg (1973), Las Antiguas Culturas Mexicanas, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, p. 128.

(8) Citado por M. León-Portilla (1974), La Filosofía Náhuatl, Ed. UNAM, México, p. 96.

En los Anales de Cuauhtitlán se cuenta que, una vez creados el cielo y la tierra por los cuatro hijos de Ometéotl, (*) uno de los Tezcatlipoca, en su afán de prevalecer, se transformó en sol. En esta primera edad o "sol" los hombres fueron creados por uno de los Tezcatlipoca a partir de ceniza. Indignados los otros dioses de aquella osadía decidieron destruir a aquel primer "sol" por medio de un diluvio que arrasó a su vez la tierra, y aquellos primeros hombres se transformaron en peces (9,10).

"Se cimentó luego el segundo sol" (9) y la tierra estuvo entonces habitada por gigantes, que si caían al suelo no podían levantarse por su corpulencia. Estos hombres fueron devorados por los monstruos de la tierra, los jaguares (o tigres), cuando el sol se ensombreció. Testimonio de aquellos hombres son los huesos fosilizados que encontramos.

En el tercer "sol" (sol de lluvia), llovió fuego sobre la Tierra y los hombres que la habitaban se convirtieron en guajolotes.

Finalmente, cuando el cuarto "sol" reinó, los hombres fueron convertidos en monos (**) al ser destruida la Tierra por el viento.

Una versión más pormenorizada de estos mitos se encuentra en un Manuscrito de 1558, anónimo y escrito en náhuatl, que, según Miguel León-Portilla (8), es una versión más apejada y la que realmente prevalecía entre los mexicas, pues se corresponde con la expresada en la Piedra del Sol. En esta versión la secuencia de los "soles" es diferente a la de los Anales.

Ya creados el quinto sol y la luna, los dioses se reunieron para ver cómo crearían a la nueva raza humana. Entonces Quetzalcóatl, dios de la sabiduría, decidió marchar al Micatlán ("lugar de los muertos"), en pos de los huesos preciosos

(*) Dios o "señor de la dualidad", padre de todos los dioses y creador de todas las cosas. Este dios ambivalente tenía dos representaciones, como hombre y como mujer (Ometecuhtli y Omechuatl, respectivamente).

(9) M. León-Portilla (1977), Los Antiguos Mexicanos, ed. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 15-22.

(10) M. León-Portilla (1974), La Religión de los Mexicanos, en M. León-Portilla, et al., Historia de México, vol. 3, pp. 201-234, ed. cit.

(**) Más correctamente se refiere el relato a hombres-mono.

de los hombres de otras edades (10). Una vez reunidos los huesos de hombres y mujeres los llevó al mítico lugar de Tamoanchan; la diosa Cihuacóatl molió los huesos en un metate, y de su harina mezclada con la sangre de los miembros de Quetzalcóatl nacieron los hombres actuales, de esta quinta edad o "sol" ("sol de movimiento"), que terminará, según la leyenda, con un terremoto (7,10).

En todos estos mitos puede observarse una cierta continuidad, ya en el perfeccionamiento de los alimentos, ya en el de la raza humana; asimismo, aunque todo aparece repentinamente, las cosas no son creadas de una sola vez.

Por otra parte, la idea de la dualidad encierra una dialéctica espontánea e ingenua de gran riqueza. En la mitología mexicana los dioses o fuerzas de la naturaleza luchan, en cada edad predomina uno sobre los otros; el propio dios Ometéotl, el creador supremo, lleva en sí mismo la contradicción hombre-mujer.

Durante el quinto "sol" los dioses convienen en repartirse el predominio, relevándose uno al otro.

Posteriormente, el desarrollo de las fuerzas productivas en la Antigüedad permitió a los hombres producir excedentes, lo que acarreó la diferenciación social, fundándose así la sociedad de clases y el régimen esclavista de producción. Todo esto propició, además, el enriquecimiento cultural, el cual se reflejó cada vez más en una progresiva racionalización de los mitos, por una parte, pero también se dejó ver una continua y progresiva dramaterialización de los mismos. Poco a poco los dioses se van convirtiendo en seres intangibles, inmateriales; lo mismo sucede con el alma que al principio era otra forma material; se exige la obediencia ciega a los designios divinos, los cuales sólo la casta sacerdotal y la nobleza pueden interpretar y representar, marginando así a las masas del pueblo trabajador. En este largo proceso se fue estableciendo la diferencia tácita entre alma y cuerpo, entre vida y muerte. Un ejemplo palpable de esto se encuentra en la religión judaico-cristiana. Los elementos míticos de la religión hebrea fue-

ron heredados de los mitos religiosos de los egipcios y babilonios. El dios hebreo es espíritu únicamente, no se lo puede representar con imágenes, es omnipotente y único, pero no tanto como para poder crear ex nihilo (de la nada) al mundo y sus pobladores. Así es, Yahvé o Jehová crea el universo a partir del caos, del agua que aparece como primer principio en todos los grandes mitos. Por ende, el mito bíblico de la creación conserva aún la huella materialista que heredó de la mitología egipcia y babilónica.

Por consiguiente, la idea de que Jehová creó todo a partir de la nada es un añadido tardío de la iglesia católica (*).

Pero lo más trascendente es la serie de prohibiciones que el dios judío impone a sus vasallos, desde los primeros versículos del Génesis, como aquel que reza así: "De todo árbol del huerto comerás. Mas del árbol de ciencia del bien y el mal no comerás de él; porque el día que de él comieres, morirás" (Génesis, 11, 16 y 17). Con esa prohibición y esa amenaza se pretende mantener en la ignorancia a las masas y se establece ya, de manera plena, el antagonismo entre el conocimiento y la fé, entre la ciencia y la religión. Todo está establecido desde el principio y todo puede deducirse, explicarse, a partir del dios único de los judíos (11). Se puede decir, por lo tanto, que la religión es un aborto de la mitología.

Pero los gérmenes teóricos insertados en los mitos también se desarrollaron y produjeron el pensamiento teórico propiamente dicho y con él nació la ciencia antigua, la filosofía.

A continuación estudiaremos el pensamiento filosófico antiguo en relación al origen de la vida.

2.2. PENSAMIENTO FILOSOFICO. - Con demasiada frecuencia se ha exagerado

(*) Efectivamente, en el Concilio Letranense IV, celebrado en el siglo XIII y presidido por el papa Inocencio III, se decretó que dios había creado el mundo de la nada.

(11) A. Reher (1976), La filosofía Hebrea y Judía en la Antigüedad; en: Brice Parain (ed), op. y ed. cit. p. 53.

En los Anales de Cuahtitlán se cuenta que, una vez creados el cielo y la tierra por los cuatro hijos de Ometéotl, (*) uno de los Tezcatlipoca, en su afán de prevalecer, se transformó en sol. En esta primera edad o "sol" los hombres fueron creados por uno de los Tezcatlipoca a partir de ceniza. Indignados los otros dioses de aquella osadía decidieron destruir a aquel primer "sol" por medio de un diluvio que arrasó a su vez la Tierra, y aquellos primeros hombres se transformaron en peces (9,10).

"Se cimentó luego el segundo sol" (9) y la tierra estuvo entonces habitada por gigantes, que al caer al suelo no podían levantarse por su corpulencia. Estos hombres fueron devorados por los monstruos de la tierra, los jaguares (o tigres), cuando el sol se ensombreció. Testimonio de aquellos hombres son los huesos fosilizados que encontramos.

En el tercer "sol" (sol de lluvia), llovió fuego sobre la Tierra y los hombres que la habitaban se convirtieron en guajolotes.

Finalmente, cuando el cuarto "sol" reinó, los hombres fueron convertidos en monos (**) al ser destruida la Tierra por el viento.

Una versión más pormenorizada de estos mitos se encuentra en un Manuscrito de 1558, anónimo y escrito en náhuatl, que, según Miguel León-Portilla (8), es una versión más apejada y la que realmente prevalecía entre los mexicanos, pues se corresponde con la expresada en la Piedra del Sol. En esta versión la secuencia de los "soles" es diferente a la de los Anales.

Ya creados el quinto sol y la luna, los dioses se reunieron para ver cómo crearían a la nueva raza humana. Entonces Quetzalcóatl, dios de la sabiduría, decidió marchar al Mictlán ("lugar de los muertos"), en pos de los huesos preciosos

(*) Dios o "señor de la dualidad", padre de todos los dioses y creador de todas las cosas. Este dios ambivalente tenía dos representaciones, como hombre y como mujer (Ometecuhli y Ometéotl, respectivamente).

(9) M. León-Portilla (1977), Los Antiguos Mexicanos, ed. fondo de Cultura Económica, México, pp. 15-22.

(10) M. León-Portilla (1974), La Religión de los Mexicanos, en M. León-Portilla, et al., Historia de México, vol. 3, pp. 201-234, ed. cit.

(**) Más correctamente se refiere el relato a hombres-mono.

la importancia y los logros alcanzados por los griegos en materia de ciencia y de filosofía en la Antigüedad; a menudo se habla de Grecia como "maestra de la humanidad". Muchos autores han declarado, sin ambages, que la filosofía nació en Grecia y que ningún otro pueblo de la Antigüedad fue capaz de semejante hazaña porque carecían del "genio", de la "chispa" de los griegos. La verdad es que detrás de estas apreciaciones subyace un auténtico racismo, con el cual se ha intentado justificar en el pasado y en el presente, la política del saqueo y el colonialismo en aras de una supuesta obra "civilizadora", con la consiguiente imposición de la cultura europea u occidental. No se trata, desde luego, de minimizar la obra gigantesca de los griegos, sino de desmitificarla y ubicarla en su contexto histórico real. El que por razones obvias conozcamos mucho más acerca de la cultura griega que de cualquier otra no debe conducirnos a la falsa conclusión de que los griegos fueran superiores, más inteligentes o más cultos. Lo consecuente con estas apreciaciones es pensar, entonces, que la cultura y la civilización griegas nacieron de la nada, por verdadera generación espontánea.

El pensamiento filosófico griego surgió, al igual que en otros pueblos, del pensamiento mítico. Los filósofos griegos, en realidad, nunca se despojaron por completo de la mitología, como tampoco lo hicieron los filósofos indios y - chinos. Tal como lo ha asentado Werner Jaeger, gran estudioso de la cultura griega: "El comienzo de la filosofía científica no coincide, así, ni con el principio del pensamiento racional ni con el fin del pensamiento mítico. Auténtica mitología hallamos todavía en el centro de la filosofía de Platón y de Aristóteles (...). Desde este punto de vista debemos considerar la historia de la filosofía griega - como el proceso de progresiva racionalización de la concepción religiosa del mundo implícita en los mitos" (12). Un ejemplo claro lo constituye Thales de Mileto

(12) W. Jaeger (1974), Paidéia: Los Ideales de la Cultura Griega, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, p. 151.

ron heredados de los mitos religiosos de los egipcios y babilonios. El dios hebreo es espíritu únicamente, no se lo puede representar con imágenes, es omnipotente y único, pero no tanto como para poder crear ex nihilo (de la nada) al mundo y sus pobladores. Así es, Yahvé o Jehová crea el universo a partir del caos, del agua que aparece como primer principio en todos los grandes mitos. Por ende, el mito bíblico de la creación conserva aún la huella materialista que heredó de la mitología egipcia y babilónica.

Por consiguiente, la idea de que Jehová creó todo a partir de la nada es un añadido tardío de la iglesia católica (*).

Pero lo más trascendente es la serie de prohibiciones que el dios judío impone a sus vasallos, desde los primeros versículos del Génesis, como aquel que reza así: "De todo árbol del huerto comerás. Mas del árbol de ciencia del bien y el mal no comerás de él; porque el día que de él comieres, morirás" (Génesis, II, 16 y 17). Con esa prohibición y esa amenaza se pretende mantener en la ignorancia a las masas y se establece ya, de manera plena, el antagonismo entre el conocimiento y la fé, entre la ciencia y la religión. Todo está establecido desde el principio y todo puede deducirse, explicarse, a partir del dios único de los judíos (11). Se puede decir, por lo tanto, que la religión es un aborto de la mitología.

Pero los gérmenes teóricos insertados en los mitos también se desarrollaron y produjeron el pensamiento teórico propiamente dicho y con él nació la ciencia antigua, la filosofía.

A continuación estudiaremos el pensamiento filosófico antiguo en relación al origen de la vida.

2.2. PENSAMIENTO FILOSÓFICO. - Con demasiada frecuencia se ha exagerado

(*) Efectivamente, en el Concilio Lateranense IV, celebrado en el siglo XIII y presidido por el papa Inocencio III, se decretó que dios había creado el mundo de la nada.

(11) A. Feher (1976), La filosofía Hebrea y Judía en la Antigüedad; en: Brice Parain (ed), op. y ed. cit. p. 53.

(aprox. 624-547. a.n.e.), el más antiguo filósofo griego que se conoce, cuyo pensamiento muestra mayor dosis de mitología que todos los filósofos posteriores de Grecia. Los mitos que influyeron a Tales fueron los del cercano Oriente (la ciudad de Mileto se encontraba al oriente, en lo que hoy es Turquía); no es extraño, por ello, que considerara al agua como principio de todas las cosas. Además, su pensamiento era hilozoísta pues concebía que todo en el mundo estaba vivo; es decir, para él vida y materia eran lo mismo, todo lo cual guarda enorme semejanza con los mitos (aprox., 11.2.1.).

Por otra parte, es ineludible hablar aquí del pensamiento de Aristóteles (384-322 a.n.e.), quizá el más grande filósofo de la Antigüedad, tanto por su obra enciclopédica como por el desarrollo que alcanzó la filosofía en sus manos. Nacido en Estagira, discípulo de Platón (427-347 a.n.e.) -quien fuera el prototipo del filósofo idealista y reaccionario de la antigua Grecia-, Aristóteles superó con mucho a su maestro, (aunque no se sacudió del todo su influencia) especialmente en su obra biológica que no se sustentaba en la pura especulación, pues realizó muy numerosas observaciones directas y comparativas. Se puede decir que Aristóteles fue el primer biólogo, propiamente dicho.

Según Aristóteles, la vida existe gracias a un principio inmaterial, el alma, que unas veces la llama forma, y otras entelequia. Dicho principio da un carácter finalista o teleológico a los objetos, incluso a los inanimados.

Respecto al problema de la biogénesis, Aristóteles, como todo el mundo de su época, creía en la generación espontánea; así describía y explicaba el Estagirita la aparición de la vida: "Todos los animales que no producen ni vástagos colaterales ni hacen "panales de miel" se reproducen por generación espontánea; y todos los que nacen de esta manera, bien sea en la tierra o en el agua, se forman, como puede verse, con acompañamiento de putrefacción y mezcla de agua de lluvia; a medida que los ingredientes dulces se separan en el principio se va -

formando, lo que queda como sobrante toma un aspecto de putrefacción. Nada, con todo, se forma por un proceso de putrefacción, sino por un proceso de cocción; la putrefacción y la materia putrefacta son un residuo de lo que ha sido cocido, pues la formación de ninguna criatura emplea toda la materia, igual que tampoco se emplea en el caso de los objetos modelados por la acción del arte, de lo contrario no habría necesidad de hacer nada en absoluto, mientras que lo que de hecho ocurre es que la materia inútil queda separada en un caso por el arte y en el otro por la Naturaleza".

"En la tierra y en el agua se forman animales y plantas porque en la tierra hay agua y en el agua pneuma, y en todo pneuma hay calor anímico (o vital), de forma que, de alguna manera, todas las cosas están llenas de alma; por este motivo, toman forma rápidamente una vez que han sido rodeadas o cercadas. Ahora bien: el alma queda encerrada a medida que los líquidos que contienen materia corpórea se vuelven calientes, y se forma una como burbuja espumosa. El objeto que toma forma de esta manera puede ser más valioso o menos valioso; y las diferencias que pueda haber en ello dependen de la envoltura que encierra el principio anímico; y las causas que determinan esto son las circunstancias ambientales en que el proceso tiene lugar y la substancia física que queda encerrada" (13) (*).

Con estas palabras Aristóteles muestra la interpretación idealista o vitalista de la generación espontánea. En efecto, la idea del pneuma o calor anímico no es otra cosa que una nueva denominación de la forma, el alma o la entelequia. Por eso señala que "el calor del sol produce generación, y también el calor de los animales", además del calor del semen y de cualquier residuo natural posible, que "pone en su interior un principio de vida" (ibid) (**).

Al referirse al posible origen de la vida en el pasado dice (De Gen. An. -

(13) Aristóteles, De la Generación de los Animales, I, 16 y III, en: Científicos Griegos, vol. I op. y ed. cit.

(*) De Gen. An. III, 11, El subrayado, excepto la palabra "pneuma", es mío.

(**) Obsérvese que aquí Aristóteles diviniza al sol pues el "calor" que anima la vida está presente en el sol y en los animales; por lo tanto se trata de mitología racionalizada.

op.cit., III, 11): "(...) si alguna vez tiempo atrás nacieron "de la tierra" como algunos dicen, se puede suponer que se formaron de una de esas dos maneras -o bien serían al comienzo una larva que tomaba figura, o bien se formaron a partir de huevos, ya que por necesidad debían contener el alimento para su crecimiento de ellos mismos"

Por la declaración anterior se puede ver que Aristóteles no estaba plenamente convencido de esa teoría del origen de las primeras formas de vida.

Discípulo de Aristóteles fue Teofrasto (372-287 a.n.e.), nacido en Ereso (Lesbos). Las principales obras que de él se conservan son Causas de las Plantas e Historia de las Plantas. En lo concerniente a la generación espontánea Teofrasto la considera posible, sobre todo en las plantas inferiores, pero en esa misma obra (Causas de las plantas), cuestiona este hecho señalando que: "puede ser, más bien, que todas las etapas del desarrollo de sus semillas escapen a nuestra observación (*)", consecuentemente, no debe aceptarse tan fácilmente la creencia de que las plantas emergen de la tierra espontáneamente hasta en tanto no hagamos un examen más cuidadoso y preciso (14); así lo expresan las palabras escritas por Teofrasto: "se deben hacer observaciones más precisas sobre la generación espontánea, debe ser completamente examinado (**)". Indudablemente Teofrasto fue un caso insólito, porque se trata del primer pensador que puso seriamente en tela de juicio la milenaria idea de la generación espontánea, pese a lo que se pensaba antes, a saber, que los primeros impugnadores de aquella creencia fueron hombres como Francesco Redi, en el siglo XVI de nuestra era.

Después de Teofrasto no se registra ningún pensamiento en nuestro campo que merezca realmente destacarse, pues en el siglo IV, a.n.e. la sociedad esclava

(*) Teofrasto, Causas de las Plantas, II, 1: citado por Abel (14), p.64; el subrayado es mío.

(14) E.L. Abel (1973), Ancient Views on the Origin of Life, Ed. Fairleigh Dickinson University Press, Nueva Jersey.

(**) Teofrasto, op. cit., I, 5, citado por Abel (14), p.64.

vista griega entró en franca decadencia, todo lo cual reflejese en las corrientes filosóficas como una agudización de la lucha ideológica y, al mismo tiempo, como decadencia de la filosofía griega. De esta manera, la lucidez y el entusiasmo que caracterizó a los grandes filósofos del período jónico y ateniense vino a quedar reducido al fanatismo, al misticismo y al fatalismo de los estoicos, los escépticos y los neoplatónicos; ya no se produjeron filósofos de la talla de Demócrito o de Aristóteles. Con todo, se puede exceptuar a Epicuro (341-270 a.n.e.), defensor del materialismo atomista iniciado por Leucipo y Demócrito. Empero, la filosofía de Epicuro ha llegado hasta nosotros gracias a la obra de Lucrecio, poeta y filósofo romano.

Tito Lucrecio Caro (99-55 a.n.e.), fue el heredero del materialismo griego, especialmente del atomismo epicúreo, el cual está bellamente expresado en su libro De Rerum Natura (De la Naturaleza de las Cosas). El libro V de la citada obra nos describe la formación del mundo, la cual refleja aún, nítidamente, el pensamiento mítico. Después se halla en el texto una idea acerca del origen de la vida por generación espontánea, llena de enorme ingenuidad. Nos dice Lucrecio que las hierbas y las plantas en general no pudieron caer del cielo, ni pudieron haber salido de las lagunas saladas, sino de la tierra, "que lleva con razón el nombre de madre puesto que de la tierra han nacido todas las cosas. Y hasta la fecha, muchos animales salen de la tierra formados por las lluvias y el cálido vapor del sol. Nada admirable, es pues, que entonces hayan nacido tantos y de mayor tamaño, estando nueva la tierra(...)" (15).

3. EDAD MEDIA (El Feudalismo) y EDAD MODERNA (Formación del Capitalismo).

Al modo de producción esclavista sucedió el modo de producción feudal, en el que la mayor parte de los campesinos, antes más o menos libres, se transforma-

(15) Tito Lucrecio Caro, De la Naturaleza de las Cosas, vol. 2.V, 425-430. Ed. URAM. El subrayado es mío.

ron en siervos del señor feudal, que era noble. El feudalismo se basaba en la explotación extensiva de la tierra. En esa época jugó un papel central la iglesia católica, que a más de ser poseedora de enormes latifundios, era la depositaria de la cultura y de la educación; la "Sagrada Escritura" era la suprema autoridad en la ciencia, la filosofía y el derecho. La ideología dominante fue la religión, la cual justificaba el orden social instituido a través del establecimiento de la jerarquización teórica que correspondía a la jerarquización social (los estamentos). La doctrina eclesíastica se conformó con elementos de la cultura grecolatina (de la filosofía de los estoicos y los neoplatónicos como Plotino (16), Proclo y Porfirio) y de la religión judía. Más tarde, con Tomás de Aquino se adaptaría la filosofía de Aristóteles al dogma católico.

Mucho se ha hablado acerca de la Edad Media como "la época de las tinieblas", época en la que el progreso alcanzado por los antiguos se detuvo e incluso dio marcha atrás. Desde luego que se trata de apreciaciones simplistas, pues hubo avances técnicos gracias a los cuales se desarrollaron las fuerzas productivas, las cuales se habían estancado por centurias en el período del esclavismo. Ciertamente la investigación científica no tuvo incentivo, pero esto no puede achacarsele al sistema feudal. Como hemos visto tampoco en la Edad Antigua se propició la investigación basada en el experimento; la ciencia griega era puramente especulativa, poco tenía que ver con la experimentación. Este hecho cardinal de desprestigiar la experimentación, la observación cuidadosa, dio pie a que el problema de la generación espontánea no sólo se quedara a nivel de la simple reflexión, como aconteció en la Antigüedad, sino que envuelto, además, en la atmósfera religiosa reinante en este período, decayera a un nivel más bajo y hasta grotesco, encarnando las fantasías más inverosímiles. Lo que verdaderamente sucedió en la Edad Media, es que, amén de haber heredado lo negativo de los filósofos griegos y romanos,

(16) A. I. Oparin (1970), Origen de la Vida Sobre la Tierra. Ed. Tecnos, Madrid pp. 18-19. Según Oparin, op.cit. Plotino parece que fue el primero en formular la noción de fuerza vital, tan difundida, siglos después, por los vitalistas.

es decir, de no basarse en la experimentación y en la observación cuidadosa. la ciencia medieval, al igual que la filosofía, estuvieron al servicio de la religión; - por esto "la escasa investigación científica de esa época se realizó con propósitos religiosos y estuvo a cargo de clérigos -sacerdotes, monjes o frailes-."(17). Naturalmente que con estas características el pensamiento medieval no presentó - nunca la diversificación que alcanzó el pensamiento antiguo.

De gran importancia por la influencia que ejerció en el pensamiento posterior, fue el clérigo dominico italiano Santo Tomás de Aquino (Tomás de Aquino 1225-1274), el máximo exponente de la filosofía escolástica. Tomás de Aquino es el ideólogo más grande de la Iglesia Católica y del feudalismo. Su principal tarea fue - la de adaptar la filosofía de Aristóteles a la filosofía católica y a la teología.

En su obra Summa Theologica, Tomás de Aquino adoptó la concepción aristotélica de la abiogénesis o generación espontánea, y por tanto la consideraba como producto del calor solar a través de la putrefacción; así, nos dice: "El hombre engendra al hombre, pero también lo engendra el sol" (18) (°); añade a esta idea la de - que dios es el responsable del poder vivificador del sol, para lo cual se vale de los ángeles; de esta manera, Tomás de Aquino nos describe una causalidad lineal en la que dios figura como la causa esencial, la causa única o primera de la vida y de la generación espontánea(17). La filosofía tomista, como la de Agustín y otros, trataba de compaginar la doctrina religiosa, la fe, con la razón; es decir, intentaba conciliar la religión con la ciencia; naturalmente con ello se castraba a la ciencia y se la hacía sierva de la teología de la misma manera como sucedió con la filosofía.

Por ello, para la Iglesia Católica la generación espontánea representaba la evidencia cotidiana de la fuerza creadora de dios; por lo tanto, se trata de la con-

(17) J.D. Bernal (1922), La Ciencia en la Historia, Ed. UNAM, México, p. 320.

(18) J. Carles (1970), Los Orígenes de la vida, Ed.Univ. de Buenos Aires, Bs.As. pp. 79-82.

(°) Recuérdese la idea de Aristóteles acerca del "calor animal", que era análogo, según él, al calor del sol (supra, II,2.2.).

cepción vitalista de ese "hecho".

4.- EDAD MODERNA.

Durante el renacimiento (siglos XV y XVI), se produjeron en Europa grandes transformaciones engendradas por las contradicciones internas del sistema feudal - de producción. El ascenso paulatino de la burguesía en la sociedad, el desarrollo de la producción mercantil, el descubrimiento de América y con ello la extensión - del comercio a escala mundial, demandaron un enorme aumento de la producción que no era posible satisfacer bajo el régimen feudal. Estas fueron las premisas de la acumulación originaria del capital, que dieron inicio al modo capitalista de producción, que posteriormente sepultaría al sistema feudal que lo había engendra do. Todo esto se reflejó en el viraje del pensamiento, de la filosofía. Los gér menes materialistas implícitos en las tesis nominalistas (infra, III), sobre todo las de Roger Bacon (1214-1294) y William of Occam (1300-1350), comenzaron a brotar, iniciándose la separación entre el conocimiento y la fe, entre la ciencia y la religión, uno de cuyos síntomas fue la vuelta a los pensadores de la Antigüedad Clásica. La filosofía y la ciencia iniciaron así su emancipación de la esco lástica clerical.

En esta forma se gestó el terreno propicio para una verdadera revolución científica, encarnada fundamentalmente por la teoría heliocéntrica de Nicolás Copérnico (1473-1543), y las ideas de Giordano Bruno (1548-1600), Francis Bacon - (1561-1626) y Galileo Galilei (1564-1642), sin olvidar al gran Leonardo da Vinci (1452-1519). Se constituían los cimientos para la ciencia experimental. Esto se traducirá más tarde, en el ataque de los grandes problemas, como el de la generación espontánea, mediante una observación rigurosa por primera vez. Ello implicaría cambios en la concepción tradicional de esta idea milenaria. A pesar de estos grandiosos cambios que se gestaban en el Renacimiento fueron muy frecuentes, todavía, los relatos fantásticos de diversos tipos de generación espontánea, algu

nos de ellos tan inverosímiles como los del arbol anserino, el cordero vaginal (ver Oparin, ref.16), o el famoso homúnculo de Paracelso (14907-1541) (19).

4.1. EL PRIMER EXPERIMENTO SOBRE LA GENERACION ESPONTANEA: FRANCISCO REDI.

En 1668, Francisco Redi, nacido en Arezzo (1626-1691), médico del Gran Duque de Toscana (20), había escrito en contra de los que creían en la generación súbita de los "gusanos" a partir de la carne putrefacta, basado en observaciones experimentales que él había realizado. Dichos experimentos son de sobra conocidos para quienes han estudiado Biología elemental. Fue la primera vez que en este terreno se aplicó el método experimental. La hipótesis de Redi consideraba que aquellos "gusanos" no se engendraban en la carne por su putrefacción, sino que eran producidos por las moscas que depositaban en la carne sus huevecillos, de los cuales nacían esos "gusanos". Para probar su hipótesis procedió de la manera más simple: tomó varios frascos colocando en ellos carne de diversos animales, unos fueron perfectamente tapados con papel, a modo de impedir la entrada de las moscas y otros (la mitad del total), permanecieron destapados a manera de testigos. Los resultados confirmaron su hipótesis. "En frascos cerrados -decía Redi- no he visto que nazcieran gusano alguno, incluso al cabo de muchos meses" (20). Para evitar cualquier objeción posible, Redi fue muy cuidadoso en sus experimentos: probó con toda clase de frascos, en distintas estaciones del año, con distintos tipos de carne (incluyendo pescado), etc. Finalmente, previendo que al cerrar completamente las bocas de los recipientes se pudiera excluir alguna fuerza vital indispensable para la generación espontánea de la vida, (la cual podría estar presente en el aire), realizó otra serie de experiencias con frascos tapados con una tela fina y poco tu

(19) G.R. Taylor (1963), The Science of Life, ed. Thames and Hudson London, Colonia, p. 11-12.

(20) J. Rostand (1966), Introducción a la Historia de la Biología, Ed. Peninsula, Madrid, pp. 7-10.

pida, como la muselina, permitiendo de ese modo la entrada del aire, pero no de las moscas (21). Los resultados fueron idénticos. A pesar de estos resultados, Redi creía aún en la posibilidad de la abiogénesis de muchas otras especies.

Indudablemente que los experimentos de Redi tuvieron enormes repercusiones, fueron un duro golpe contra la teoría de la generación espontánea, pero no definitivo.

En el siglo XVII se generalizó el método experimental, sucitiéndose una verdadera epidemia de experimentación que muy pronto comenzó a dar frutos. En este siglo se contó, además, con grandes inventos como el microscopio compuesto (inventado hacia 1590). Aquella fiebre por la investigación científica dio como resultado la fundación de las primeras sociedades científicas en sentido estricto, la Royal Society de Londres (1662) y la Académie Royale des Sciences de París (1666). En esta época, se puede decir con J.D. Bernal, la ciencia alcanzó su mayoría de edad y se convirtió en una institución (17).

4.2. EL DESCUBRIMIENTO DE LA VIDA MICROSCOPICA.

En 1675, un tendero holandés de la ciudad de Delft, llamado Anton van Leeuwenhoek (1632-1723), descubrió los microorganismos (bacterias e infusorios) en diversas muestras de agua. Salta a la vista la trascendencia de éste descubrimiento, sobre todo porque reforzaba la teoría espontaneísta todavía en vigor, y ahora en condición más difícil para ser rebatida. Apenas habían pasado siete años de los trabajos de Redi y ya se abrían las puertas de un mundo en el cual los espontaneístas encontraban un campo ubérrimo. Esta vez no sería fácil derribar a la teoría de la generación espontánea.

Las preguntas al respecto no se hicieron esperar: ¿de dónde provienen esos animálculos? ¿se forman espontáneamente o nacen de padres semejantes a ellos, como

(21) E.J. Gardner; (1972), History of Biology, Burgess Publ. Co., Minneapolis, pp. 165-166.

¿ cree Leeuwenhoek ?.

4.3. CONSECUENCIAS DE LOS EXPERIMENTOS DE REDI Y DE LOS DESCUBRIMIENTOS DE LEEUWENHOEK.

Como se ha visto, en la Edad Media y en el Renacimiento fue de aceptación universal la teoría de la Generación Espontánea. La iglesia católica no fue la excepción, pues en sus concepciones creacionistas estaba implícita aquella idea de la abiogénesis, que se interpretaba a la luz del dogma escolástico. En consecuencia, no fue grato a los ojos del clero y sus teólogos aquel golpe asestado por Redi contra la teoría espontaneísta, como tampoco lo eran los experimentos que empezaron a proliferar a lo largo y ancho de Europa, los cuales formaban parte de la ofensiva ideológica que la burguesía cada vez más fortalecida, orquestaba contra el régimen feudal caduco.

Pese a todo esto, pronto algunos teólogos y algunos filósofos idealistas se daban cuenta de que el resultado obtenido por los experimentos de Redi podía conciliarse mejor con la doctrina católica: ¿no sería, acaso, más congruente todo esto con el relato bíblico de la creación y con la idea de la inmutabilidad del mundo? En efecto, veremos que los teólogos y los filósofos idealistas empezaron a mirar con desdén, paulatinamente, la teoría de la generación espontánea, y comenzaron a tildarla de doctrina propia de ateos, herejes y materialistas. Esta situación se definirá, plenamente, con los experimentos realizados por Pasteur en la segunda mitad del siglo XX (infra, II, 5.2.)

Así la generación espontánea, antes defendida a capa y espada por la religión y los idealistas (vitalistas), ahora, después de los trabajos de Redi y los descubrimientos de Leeuwenhoek, motivó que estos se mostraran no sólo escépticos sino que se transformaran en auténticos anti-espontaneístas.

4.4. LA CONTROVERSI A NEEDHAM-SPALLANZANI.- En 1745, el sacerdote católico John T. Needham (1713-1781), realizó experimentos para demostrar la generación espontánea. Dichos experimentos gozaron, por otra parte, de los elogios y del reconocimiento pleno del insigne sabio mecanicista francés Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), con quien Needham mantuvo estrecha amistad. Buffon aseguraba que toda la naturaleza estaba plagada de partículas vivas, ubicuas e independientes, que al reunirse forman a un ser vivo completo. Este teoría atomista biológica era, en verdad, una adaptación, al modo materialista, de la doctrina de las mónadas del filósofo alemán Leibnitz (1646-1716) (22).

Empero, las experiencias de Needham tropezaron con los resultados obtenidos por el filósofo italiano Lazzaro Spallanzani (1729-1799), quien entre los años 1765 a 1776 llevó a cabo experimentos que demostraban la imposibilidad de la generación espontánea. Spallanzani señalaba que el calentamiento al que Needham había sometido sus cultivos era insuficiente, y que era un craso error tapar a las redomas con un simple corcho; por lo tanto, los medios preparados por Needham estaban totalmente expuestos a la contaminación y debido a esto aparecían siempre los animalículos en aquellas redomas. Por su parte, Needham objetó en una carta a Spallanzani, diciéndole: "Su experimento carece de base, porque ha calentado usted las redomas por espacio de una hora y ese calor tan intenso debilita y perjudica la fuerza vegetativa hasta el punto de que no le es posible crear animalillos" (23). Spallanzani refutó con sus experimentos la existencia de tal fuerza vegetativa - así como otras ideas mantenidas por Needham; sin embargo, Spallanzani no pudo vencer a sus contemporáneos, pesaba demasiado el criterio mecanicista en aquella época. En este sentido cabe hacer una aclaración, el concepto de fuerza vegetativa al que se refería Needham, no tenía, propiamente, un significado vitalista, como a -

(22) E. Nordenskiöld (1949), Evolución Histórica de las Ciencias Biológicas, Ed. Espasa-Calpe, Buenos Aires, pp. 262-63.

(23) Paul de Kruif (1957), Los cazadores de Microbios, Ed. Diana, México, p. 46 el subrayado es mío.

menudo se cree, sino más bien un sentido mecanicista inspirado en el pensamiento de Descartes y en la mecánica magistralmente desarrollada por Newton. El concepto de Fuerza fue uno de los más difundidos y populares durante la segunda mitad del siglo XVIII; todo podía, en principio, ser reducido a fuerzas según el pensamiento mecanicista; si existía una fuerza gravitacional, una fuerza hidráulica, una fuerza eléctrica, etc., ¿porqué no habría una fuerza vegetativa? También esta última fuerza se haría muy popular a fines del siglo XVIII. Pero no solamente los mecanicistas emplearon ese término, también los vitalistas se sirvieron de él considerando a la fuerza en un sentido totalmente opuesto, como algo oculto, como potencia, entelequia o psique. Así, para los materialistas del siglo XVIII, la fuerza vegetativa o vital era una más de las fuerzas de la naturaleza, en tanto que, para los vitalistas y los teólogos era una de las manifestaciones supremas de dios.

Por lo tanto, Needham era un típico representante del mecanicismo. Pese a que era sacerdote católico (Spallanzani también lo era), sufrió la enorme influencia del pensamiento materialista de Buffon, por lo que no es posible achacarle in consecuencia, pues era tan inconsecuente como lo eran todos los mecanicistas de los siglos XVII y XVIII (no hay que olvidar los casos tan palpables de Descartes y de Newton o los de Harvey y Boerhaave, quienes intentaron una extraña simbiosis entre la ciencia y la religión; y no podía ser de otro modo, pues la iglesia católica o los protestantes eran aún lo suficientemente poderosos para mandar a las cárceles a aquellos osados que intentaran poner en duda su autoridad).

Por lo antedicho resulta erróneo considerar, guiados por apariencias, que Needham era vitalista simplemente porque invocó a una fuerza vegetativa.

La controversia Needham-Spallanzani no se redujo a los círculos puramente académicos, rebasó su ámbito y se hizo muy popular, lo cual demuestra que detrás de este debate bullían, de algún modo, las luchas ideológicas en el seno de aquella sociedad.

5. EPOCA CONTEMPORANEA.

A pesar del gran desarrollo de la ciencia en la primera mitad del siglo XIX, impulsada por la Revolución Industrial, el panorama acerca de la generación espontánea no cambió en lo absoluto. Hubo desde luego algunos otros intentos para refutar aquella teoría pero ninguno fue convincente.

5.1. TRABAJOS DE PASTEUR.

En vista de que el problema de la generación espontánea no se finiquitaba y continuaba la controversia, la Academia Francesa de las Ciencias decidió ofrecer un premio a quien "mediante experimentos precisos y demostrativos arrojara nueva luz sobre la cuestión de la generación espontánea". Los competidores para este premio fueron Félix Archimède Pouchet (1800-1872) y Louis Pasteur (1822-1895).

Pouchet ya había estado trabajando en ese sentido desde años anteriores, publicando sus ideas y conclusiones en un voluminoso libro en 1859. Realmente dichas ideas no presentan ninguna originalidad por parte de su autor. Pouchet se limita a repetir, esencialmente, las viejas ideas acerca del "proceso" de la generación espontánea, o sea, que gracias a la fermentación o putrefacción de sustancias orgánicas se engendran microorganismos y que este fenómeno se explicaba por una fuerza vital o vegetativa (^o), tal como lo habían considerado antes Buffon y Needham.

Por su parte, Pasteur había venido ocupándose del fenómeno de la fermentación, tomando para ello en cuenta los trabajos anteriores de Schwann (1837) y de Cargniard de Latour (1836), quienes ya habían señalado que la fermentación no era un proceso químico, como se pensaba, sino un proceso biológico. Esta consideración, lógicamente, restaba validez a la generación espontánea, en virtud de lo cual fue rechazada por los filósofos y los científicos materialistas mecanicistas, como -- Liebig y Bertholet.

(^o) Aquí, como en el caso de Needham, la fuerza vital o vegetativa tiene una connotación mecanicista y no vitalista.

En 1857 Pasteur se ocupó de la fermentación láctica y logró aislar a los microorganismos responsables del proceso y pudo asimismo, fijar las condiciones óptimas del mismo; luego (1858), hizo algo semejante con los agentes productores de la fermentación del tartarato de amonio y, en 1860, presentó una memoria sobre la fermentación alcohólica que demostraba, a todas luces, la validez de la hipótesis biológica de las fermentaciones. Todos estos trabajos los prosiguió hasta el año de 1877 (21).

Estas investigaciones exitosas de Pasteur reforzaban su convicción en contra de la generación espontánea, pues él era devoto católico. Enseguida, inició sus trabajos para demostrar lo erróneo de las apreciaciones de Pouchet. En general, repitió los mismos experimentos realizados antes por Spallanzani, Schwann, Schulze, Schröder y Dusch. Pasteur acusaba a Pouchet de no esterilizar debidamente sus medios de cultivo y pronto se presentaría una controversia semejante a la que, antaño, sostuvieron Needham y Spallanzani: la historia parecía repetirse, casi todo el mundo, científico o no, estaba pendiente de los resultados. Era evidente que el problema tenía raíces ideológicas (*).

Las objeciones de Pouchet (24) no se dejaron esperar. Impugnaba que Pasteur impedía la entrada de aire y esto cerraba el paso a la fuera vital. Pasteur echó abajo aquella falacia gracias a una sugerencia del químico Balard, que consistía en estirar los cuellos de sus matraces en forma de una "S" o de cuello de cisne (fig. 1), luego esterilizaba por calentamiento sus líquidos de cultivo y los dejaba enfriar. Como los tubos sigmoides de los matraces no estaban sellados en su extremo el aire circulaba libremente, pero los gérmenes, que flotan en él, no podían ascender para llegar al matraz, por lo tanto, no alcanzaban el medio nutricional y jamás se presentaba la contaminación, ni aparecían los microorganismos.

(*) De Kruif señala que aquella famosa controversia estuvo a punto de ser resuelta a puñetazos por parte de Pasteur y Pouchet; op. cit. p. 87 (23).

(24) Véase el libro: L. Pasteur (1944), Estudios Sobre Generación Espontánea, Ed. Emecé, Bn. As.

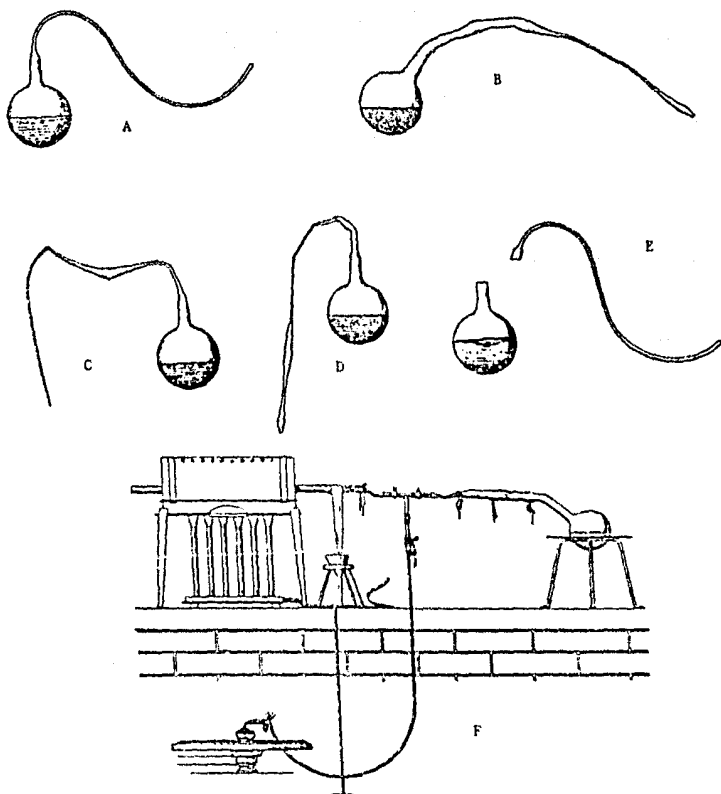


Figura 1.- (A-D), matraces con diversas formas de cuello, ideados por Pasteur para evitar la contaminación por microorganismos de sus caldos de cultivo. (E), uno de los matraces con el cuello cortado que mostraba contaminación por mohos y bacterias a las pocas horas. (F), dispositivo empleado por Pasteur para mostrar la inexistencia de la fueraza vital. El aire que llegaba al matraz (a la derecha), era calcinado antes en la estufa (a la izquierda); previamente se introducía en el tubo conectado al matraz un "taquito" de algodón impregnado de "polvo atmosférico". A pesar de la calcinación del aire el caldo del matraz se alteraba por la actividad de los microbios. Ilustraciones tomadas de Pasteur, (24).

Pasteur publicó sus resultados en una brillante memoria (1862). Con la publicación de este trabajo se demostraba definitivamente la falsedad de la generación espontánea o abiogénesis tal como se había concebido por los mecanicistas.

Hasta la fecha se conservan algunos matraces con medios de cultivo preparados por Pasteur y no han sufrido ninguna alteración ni muestran síntomas de actividad orgánica.

Este golpe mortal asestado por Pasteur a la milenaria idea de la abiogénesis fue como un baño de agua helada para los mecanicistas, quienes no querían, aún, aceptar tamaña derrota. Declaraban que aceptar esto era equivalente a tener que invocar un acto creador, un milagro: "¡ en nombre de la razón humana, Pasteur tenía que equivocarse!" (20), ¡tal era la desesperación de los materialistas mecanicistas de la segunda mitad del siglo XIX, ante los experimentos realizados por Pasteur! Por este motivo los mecanicistas se empeñaron y siguieron insistiendo en la posibilidad de la generación espontánea. Uno de los más descolantes fue el botánico suizo Carl Nägeli (1817-1891).

La controversia de la abiogénesis, sin embargo, no terminó en Francia, sino que fue reabierto en Inglaterra. En 1872, el médico inglés Henri Charlton Bastian (1837-1915), publicó una extensa obra de dos volúmenes titulada The Beginning of Life (El comienzo de la vida), que contradecía los experimentos de Pasteur. En dicha obra Bastian explicaba que Pasteur no tenía razón, pues él había empleado un medio ácido (soluciones con levaduras), mientras que Pouchet los había empleado alcalinos (caldo de carne); por lo tanto, Pasteur había ignorado ese factor de máxima importancia para que se generaran microorganismos espontáneamente, pues en tales condiciones sí puede actuar la fuerza vital o el principio generador. Entonces entró en escena John Tyndall (1820-1893), un físico compatriota de Bastian, echando por tierra los argumentos de éste, demostrando que esos resul

tados no contradecían la imposibilidad de la abiogénesis (25,26). En el curso de sus investigaciones, Tyndall advirtió que había dos formas de microorganismo, unas más resistentes al calor que las otras; las primeras son formas activas (de bacterias), y las segundas son formas inactivas (esporas). Las formas inactivas pueden soportar la temperatura de la ebullición del agua durante varias horas, si el medio es ligeramente alcalino. De cualquier manera, estos detalles en nada cambiaban la conclusión definitiva emitida ya por Pasteur.

De esta modo, los experimentos de Tyndall reforzaron las Tesis de Pasteur; consecuentemente, ellos fueron la puntilla de la teoría espontaneísta.

5.2. CONSECUENCIAS DE LOS TRABAJOS DE PASTEUR.

Como ya lo había señalado antes (supra, 11,4.3.), los trabajos de Pasteur evidenciaron, de manera definitiva, la discrepancia que empezaba a vislumbrarse desde finales del siglo XVII entre los materialistas (mecanicistas) y los vitalistas, en torno a la teoría de la generación espontánea. Los mecanicistas insistían en la absoluta posibilidad de la abiogénesis a partir de la materia inerte, de acuerdo con las leyes de la naturaleza inorgánica; los vitalistas, por el contrario, sostuvieron cada vez con mayor vehemencia que la formación de seres vivos en tales condiciones era imposible, no tanto porque estuvieran basados en evidencias científicas como por convicciones ideológicas, pues sus afirmaciones avalaban la doctrina creacionista mantenida por la religión.

Los estudios de Pasteur y sus conclusiones quedaban, por ende, como anillo al dedo a las argumentaciones vitalistas. A todo ello habían de añadirse otros hechos, como los descubrimientos que condujeron al establecimiento de la Teoría ce-

(25) G. Hardin (1969), Biología. Sus principios e Implicaciones, Ed. Herrero, México.

(26) R.Y. Stanier; M. Doudoroff y E.A. Adelberg; (1970), The Microbial World, Prentice Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, pp. 7-10.

lular la cual se expresaba, diáfana, en aquel aforismo de Virchow (1855): "Todas las células provienen de células". Así las cosas, como ha dicho Isaac Asimov "Nunca el vitalismo pareció tan fuerte" (27). Justamente por todo lo anterior, resulta un craso error decir que los trabajos de Pasteur desacreditaron definitivamente al vitalismo. Y esto, naturalmente, no obedecía a que el vitalismo fuera una doctrina correcta, basada en la ciencia, más bien se debía a la torpeza y a la miopía aguda de la doctrina mecanicista, que obstinadamente continuaba concibiendo al mundo de manera antibiótica y artrítica, a la que más adelante analizaré (infra, II, 7 y 8).

Ante estos hechos los mecanicistas adoptaron dos posiciones: unos decidieron buscar todavía una prueba experimental de la generación espontánea que contradijera las experiencias de Pasteur y otros consideraron a la vida tan eterna como la materia misma, eludiendo de este modo el problema del origen de la vida (infra, II, 7).

6. LA TEORIA DE LA EVOLUCION.

El préformismo, la negación rotunda de la generación espontánea y la fijez de las especies vivientes, conformaban el cuadro conceptual básico en el que se apoyaba el vitalismo en la segunda mitad del siglo XIX. Pero aquella situación iba a ser sacudida en 1859, el mismo año en que se inició la controversia Pasteur-Pouchet, con la publicación del libro On The Origin of Species by Means of Natural Selection, (Sobre el Origen de las Especies por medio de la Selección Natural), escrito por Charles Robert Darwin (1809-1882). En él por primera vez se presentaba una teoría de la evolución biológica de manera completa, racional y basada en infinidad de datos de observación y experimentación. Indudablemente que dicha obra tenía limitaciones y consideraciones erróneas, pero el núcleo de su contenido ha permanecido válido hasta nuestros días. Oparin ha señalado que "La publicación

(27) I. Asimov (1966), Breve Historia de la Biología, Ed. Univ. de Bs. As. Buenos Aires, pp.116

de la teoría darwiniana de la evolución es, justamente, considerada como el co mienzo de una nueva era en la Biología -cuando la ciencia de la vida fue eleva da a una altura anteriormente inalcanzable. Antes de Darwin, la Biología era - una acumulación de hechos dispersos, que aunque sistematizados, no estaban intrín secamente interrelacionados" (28). Realmente, con su teoría de la evolución median te la selección natural, Darwin dotó a la Biología de su Teoría unificadora y ex plicativa por excelencia: la teoría de la evolución, por lo tanto, es para la Bio logía lo que la teoría atómica es para la Química.

Pero los efectos de la teoría de Darwin se dejaron sentir, primeramente, entre los teólogos y los vitalistas, quienes eran verdaderos fanáticos del fixismo de las especies biológicas, pues esto era congruente con la idea creacionista expresada en la Biblia. Por esta razón la teoría evolucionista fue tan duramente ataca da por los representantes de esas ideas retrógradas, ya que, el aceptar la muta bilidad de las especies sería tanto como aceptar la existencia de imperfecciones - en la naturaleza y, por consecuencia, en su creador.

Además, en el cuadro evolutivo de Darwin estaba incluido el propio ori gen del hombre, lo cual era inaceptable para los teólogos y los vitalistas.

A pesar de la auténtica cruzada en contra de la idea evolucionista, ésta se impuso en relativamente poco tiempo, más por sus aspectos erróneos y negati vos, heredados de la teoría malthusiana, que por sus méritos, pues había nacido en un ambiente ideológico propicio para su aceptación. Surgió y se consolidó ba jo el imperio de la ideología del progreso, del liberalismo, que era la dominante en el régimen capitalista inglés de mediados del siglo pasado (*). Por lo que to ca a sus ideas valiosas, muy pocos biólogos supieron aquilatarlas, y los que lo hicieron, sólo la valoraron parcialmente, sin ser capaces de encontrar toda su ri queza teórica; ello se debió, principalmente, a la influencia ejercida por el meca-

(*) Es conocido el hecho de que Herbert Spencer tomó la teoría de Darwin como base de su doctrina: el darwinismo social, que justificaba la política colonialista y de rapina del imperio inglés y sus monopolios.

nicismo y el positivismo en las ciencias naturales (infra, III).

Por otro lado, la teoría de Darwin que señalaba la aparición de nuevas especies, en general más complejas y especializadas a partir de otras anteriores, planteaba una cuestión inevitable: ¿de dónde derivaron las primeras especies y cómo eran?, es decir, se planteaba de nuevo el problema de los orígenes de la vida.

Todos estos hechos agrietaban aquella fortaleza en la que los vitalistas se habían refugiado. ¿Qué hicieron entonces los mecanicistas? Su miopía teórica no les permitió ver más allá de sus narices; víctimas de un materialismo vulgar, no faltó quien se lanzara en contra de las ideas de Darwin con tanto arrojo como los vitalistas. Un caso patente de este hecho fue Carl Nägeli, quien además consideraba que no había ninguna diferencia esencial entre los seres vivos y los seres inertes y afirmaba que "(...) la dificultad de hacer que una célula salga de una substancia química informe no es mayor para los tiempos primitivos que para los modernos" (*). Otros mecanicistas defendieron al darwinismo, pero generalmente modificándolo; el más destacado defensor entre estos fue Ernst Haeckel (1834-1919), el cual, no obstante, insistía en que "Negar la generación espontánea equivale a aceptar el milagro: la creación divina de la vida, o bien la vida se autogenera espontáneamente, en virtud de unas leyes determinadas, o bien es creada por unas fuerzas sobrenaturales" (**).

6.1. ¿DARWIN Y PASTEUR FRENTE A FRENTE ?

Después de la publicación de los trabajos de Pasteur que derrumbaban el vetusto edificio de la generación espontánea, los vitalistas decidieron enfrentar éstos, como argumento poderoso, a la teoría darwiniana de la evolución. A ello contribuyeron también, como ha señalado, las torpes apreciaciones de los mecanicistas. Influidos por el empirismo vulgar, los vitalistas intentaron vulnerar la teoría

(*) Citado por Nordensköld op. y ed. cit. (22), p. 622.

(**) Citado por A.I. Oparin, op. y ed. cit. (16) p. 43.

evolucionista arguyendo que Pasteur había demostrado la imposibilidad absoluta de la abiogénesis por la vía del experimento y Darwin, en cambio, señalaba la descendencia de unas especies a partir de otras a través de la selección natural, expresada en una lucha por la existencia, teoría que no estaba demostrada ya que era producto de la pura especulación. Por lo tanto, si ha sido un rotundo fracaso todo intento de demostrar la generación directa de las formas de vida más simples (los microorganismos), ¿qué puede decirse de las especies superiores?. De este modo los vitalistas procuraron poner a salvo sus ideas creacionistas.

Así, el paso específico de las ideas vitalistas parecía aumentar; la consecuencia lógica de la teoría de la evolución, es decir, el problema del origen de la vida, quedaba descartado para la ciencia, y la Teoría de Darwin presentaba, a los ojos del vitalismo, un punto muy vulnerable. La confusión no podía ser mayor.

El mismo Darwin se mostraba confundido ante aquella situación respecto al origen de la vida. En una carta que escribió a su amigo, el botánico J.D. Hooker, le dijo: "Es un disparate hablar sobre el origen de la vida; se podría hablar igualmente sobre el origen de la materia" (29). Esta declaración nos revela que también Darwin fue víctima de las concepciones mecanicistas, como lo atestiguan, además, sus interpretaciones lamarckianas aparecidas en la última edición de su obra fundamental, revisada por él. Esa vuelta a Lamarck por parte de Darwin no era otra cosa que una recaída hacia el mecanicismo (*).

No obstante, en una ocasión Darwin escribió otra carta al mismo Hooker - (el 10. de febrero de 1871), en la cual señalaba, brillantemente, el planteamiento correcto frente al problema del origen de la vida. Estas fueron sus palabras:

"Se dice con frecuencia que todas las condiciones para la producción de un organismo

(29) Citado por J. Kossian (1968), El Origen de la Vida, Ed. Alhambra, Madrid, p.4.

(*) A pesar del mecanicismo practicado por Lamarck, es interesante señalar que fue el primero en plantear el origen de la vida en una perspectiva evolucionista (ver Oparin, op. y ed. cit (16) p.69). Pero esta fue una concepción aislada que no tuvo consecuencias.

mo vivo, están presentes en nuestros días, las cuales podrían haber existido siempre. Pero aunque (¡y qué grande sería!) pudiéramos concebir algún estanque pequeño caldeado con toda clase de sales de amoníaco y ácido fosfórico, luz, calor, electricidad, etc., presentes, a fin de que se formar químicamente un compuesto proteínico, en condiciones de sufrir todavía más cambios complejos; en el presente, tal material sería instantáneamente devorado o absorbido, el cual, no habría sido el caso antes que las criaturas vivientes fueran formadas" (30). En esta carta Darwin mostraba la clave para el estudio científico del origen de la vida, superando los prejuicios del mecanicismo y el vitalismo. Pero este chispazo de Darwin no tuvo ninguna repercusión (*), los científicos de fines del siglo XIX y de principios del XX tenían sus cerebros extraviados por el empirismo vulgar, y por consiguiente, no eran capaces de percibir esta problemática en su dimensión real: la histórica.

6.2. IDEAS DE ENGELS.

Mientras los científicos y los filósofos mecanicistas se encontraban atrapados en el callejón sin salida de la generación instantánea de vida, y los vitalistas se jactaban de sus triunfos frente al mecanicismo, un filósofo y político alemán llamado Friedrich Engels (1820-1895), echaba por tierra aquella contraposición aparente entre la teoría de la evolución y los trabajos de Pasteur. En sus obras, Anti-Dühring (1878) o La Subversión de la Ciencia por el Señor Dühring, y Dialéctica de la naturaleza (escrita entre 1873-1883), -esta última desgraciadamente quedó inconclusa y se publicó hasta 1925-, Engels pulveriza, sin piedad, los sofismas y las concepciones antihistóricas vigentes entonces entre los científicos de la naturaleza, especialmente en relación al problema del origen de la vida. Tanto los mecanicistas como los vitalistas fueron objeto de la crítica de Engels.

(30) Citado por: M. Calvin; (1969), Chemical Evolution, Oxford University Press, Londres, p. 4.

(*) Por otra parte, la carta de Darwin aquí referida no fue publicada hasta 1950, por lo que no fue conocida oportunamente.

Engels, principalmente en su Dialéctica de la Naturaleza, delineó cabalmente el carácter histórico del problema sobre el origen de la vida, pero a diferencia de Darwin, Engels lo hizo sin titubeos, en total congruencia con la concepción materialista y dialéctica que profesaba.

Engels consideraba que "la vida es el modo de existencia de los cuerpos albuminoides", y señala además que la ciencia de la naturaleza "Hasta ahora, en efecto, no ha conseguido producir seres orgánicos sino por descendencia; ni siquiera ha podido producir sencillo protoplasma u otras proteínas a partir de los elementos químicos. Por eso no puede decirnos sólidamente hasta ahora sobre el origen de la vida sino que tiene que haberse producido por vía química" (31).

En otra parte, Engels se refiere a la idea de la generación espontánea - defendida con tanta vehemencia por los mecanicistas, y nos dice que "semejante hipótesis se da de bofetones con el estado actual de la ciencia" (32) añadiendo más adelante: "es una necesidad querer explicar el nacimiento de una sola célula partiendo directamente de la materia inerte, en vez de hacerlo a base de la albúmina viva carente de estructura, creer que por medio de un poco de agua putrefacta se puede obligar a la naturaleza a hacer en veinticuatro horas lo que ha costado miles de años conseguir" (*); inmediatamente después, afirmaba: "Los experimentos de Pasteur en este sentido son estériles: jamás llegará a demostrar a quienes creen en la posibilidad de la generación espontánea, por medio de tales experimentos, que este tipo de generación sea imposible; tienen, sin embargo, su importancia, por cuanto que arrojan mucha luz acerca de estos organismos, de su vida, sus gérmenes, etc."

(Ibid. p.255)(**). En esta forma, Engels refutaba las argumentaciones de los meca-

(31) F. Engels (1968), Anti-Dühring, Ed. Grijalbo, México, pp. 61 y 70.

(32) F. Engels; (1961), Dialéctica de la Naturaleza, Ed. Grijalbo, México, p. 254.

(*) Ibid., Es necesario aclarar aquí que, en esa época el citoplasma o protoplasma celular se creía como un cuerpo proteínico complejo (albuminoide) carente de estructura. Las bacterias, los mohos y algunos protozoarios eran considerados como grumos proteínicos o albuminoides, solamente.

(**) El subrayado es mío.

nicistas y de los vitalistas haciendo hincapié en que el asunto debe enfocarse en una perspectiva histórica. La vida para Engels era el resultado de un proceso evolutivo, previo, de la materia cósmica y, asimismo, la vida actual es resultado de la evolución de formas de vida anteriores, tal como lo señala la teoría de la selección natural que Darwin había propuesto.

Al subrayar la importancia de los dos más grandes hallazgos de la Biología, a saber: la teoría celular y la teoría de la evolución, Engels añade que: - "sólo queda una cosa por hacer: explicar el nacimiento de la vida a base de la naturaleza inorgánica(...) La química va acercándose cada vez más a la solución de este problema. Pero si pensamos que fue solamente en 1828 cuando Wölkner obtuvo con materia inorgánica el primer compuesto orgánico, la urea, y cuán innumerables composiciones llamadas orgánicas se obtiene hoy sin sustancias orgánicas - de ninguna clase, difícilmente creeremos que la albúmina representará un obstáculo insuperable para la química (...) Sería, sin embargo, pedir un milagro exigir que la química logre de la noche a la mañana lo que la naturaleza, en condiciones favorables y en algunos cuerpos cósmicos solamente, ha necesitado millones de años para conseguir(*)". En esta forma demuestra que la teoría de la evolución no sólo no se contraponen con los resultados obtenidos por Pasteur y Tyndall, sino que éstos confirman aún más aquella teoría.

Así pues, Engels vio más allá que los biólogos y los filósofos de fines del siglo XIX y de principios del XX. Engels, indiscutiblemente, se adelantó a su tiempo, lo cual constituye un testimonio irrefutable de lo erróneo que resulta afirmar, prejuiciosamente, que la filosofía siempre ha ido a la zaga con respecto a la ciencia, como lo ha hecho Althusser y sus seguidores (**). Engels no era - biólogo ni era especialista en ninguna otra ciencia natural y, sin embargo, comprendía cabalmente los alcances de la ciencia de su época y las enormes limita-

(*) F. Engels: Dialéctica de la Naturaleza, ed. cit. pp. 167-168.

(**) Ver: L. Althusser (1970), Lenin y la Epistemología, Ed. DÍez, Buenos Aires, p. 38 cit. en el cap. intr. de esta tesis.

ciones de los científicos, formados dentro de un esquema filosófico anquilosado y caduco, insertado en una sociedad que impulsaba a la ciencia, únicamente, para satisfacer el afán de lucro, el "progreso" de una clase dominante. En consecuencia, la visión de Engels no fue obra de la casualidad sino de la práctica de una filosofía congruente con la ciencia, y en este sentido son claras las palabras de Dymnik cuando nos dice: "El hombre de ciencia, cuando se guía por un acertado pensamiento teórico, ve mejor, con más profundidad y exactitud que quien observa directamente un cuerpo nuevo, hasta entonces desconocido y no tiene de él una noción teórica" (33), o bien -puede añadirse-, tiene una noción teórica errónea.

7. LA VIDA SIN HISTORIA: TEORIA DE LA PANSPERMIA.

Después de las investigaciones de Pasteur sobre la abiogénesis, algunos mecanicistas trataron de superar la situación suponiendo que la vida era increable y eterna como la materia. Al abrazar esta tesis continuista, ciertamente los mecanicistas abrazaban, sin proponérselo, el vitalismo.

Al aceptar la suposición de que la vida es eterna los mecanicistas retornaban a una añeja postura, el hilozoísmo, lo cual acarrearía, forzosamente, la generación espontánea (recuérdese el hilozoísmo implícito en toda la mitología y en los primeros filósofos griegos). De no ser así, se levantaba un muro infranqueable entre la vida y la no vida y se correría el peligro de caer abiertamente en el vitalismo: por consiguiente, la antihistórica teoría de la eternidad de la vida era, desde esta perspectiva, demasiado frágil, pues el mecanicista creía estar en suelo materialista y se encontraba realmente en suelo vitalista. Este peligro era más evidente dado que muchos vitalistas también eran partidarios de aquella idea. Los extremos se tocaban. Veamos algunos ejemplos para percatarnos de este hecho. Justus von Liebig (1803-1873), declaraba en 1868 lo siguiente: "Lo único (33) M.A. Dymnik; (1968), Historia de la Filosofía, Ed. Grijalbo, México, Vol. 3, p. 435.

que podemos afirmar es que la vida es tan antigua y tan eterna como la materia misma, y con esta hipótesis, creo que queda resuelto todo litigio en torno a los orígenes de la vida. En efecto ¿por qué no hemos de considerar la vida orgánica como algo tan originario como el carbono y sus combinaciones, o como toda materia increable e indestructible en general, y como las fuerzas eternamente vinculadas al movimiento en el espacio cósmico" (°).

Por su parte, en 1871, el físico idealista inglés William Thompson (Lord Kelvin), sostenía ideas semejantes.

La vida, de acuerdo con estas ideas, no tiene historia, es inmutable (por lo menos en su forma más elemental: bacterias, levaduras, infusorios, etc.). Una variante de las ideas anteriores fue la teoría de la panspermia. La idea de la panspermia no era, desde luego, una verdadera novedad en la segunda mitad del siglo pasado. Hasta donde sabemos sus primeras manifestaciones se remontan a Anaxágoras, Teofrasto y otros, luego a San Agustín, Paracelso, Leibniz, etc.

En la actualidad se distinguen dos tipos de panspermia, según el medio como sean transferidos los gérmenes viables de un cuerpo celeste a otro; así, tenemos litopanspermia y radiopanspermia. La primera se conoció originalmente como Teoría de los cosmozoos y se atribuye a H. Richter su fundación (1865), aunque de acuerdo a Oparin, ya en 1821 se expresó una hipótesis semejante por parte del francés E. de Montlivault.

Según Helmholtz, los meteoritos podían ser los agentes más comunes para la transferencia de los microorganismos. Tal idea surgió a raíz del descubrimiento de algunos compuestos orgánicos (hidrocarburos principalmente), por S. Cloez, en 1831, en el meteorito carbonoso (condrita carbonosa), de Orgueil, en Francia. Casi de inmediato se hicieron intentos para aislar microbios de esos meteoritos (uno de los más importantes fue el de Pasteur), pero todos resultaron estériles. A pesar (°) Citado por Engels, op. y ed. cit. (32) p. 255.

de esto, la hipótesis siguió en pie volviendo a adquirir gran sonoridad en 1932 por medio de Ch. Lipman. Todavía en nuestra época estas ideas gozan de simpatías entre algunos científicos. Especialmente merece mencionarse una modalidad de esta hipótesis, la llamada Panspermia dirigida (1973, por Francis H. Crick y Leslie E. Orgel), quienes proponen que la vida en la tierra pudo haber comenzado como resultado de una "infección" de microbios, enviados deliberadamente a nuestro planeta por una sociedad extraterrestre tecnológicamente muy avanzada! (34).

La radiopanspermia fue postulada en 1908 por el químico sueco Svante Arrhenius (1858-1927), conocida en esa época simplemente como panspermia. Conforme a esta hipótesis, la vida está esparcida por todo el universo, y sus gérmenes o esporas, impulsados por la radiación luminosa de las estrellas, pueden caer en un planeta adecuado, germinar y desarrollarse, a través del tiempo, todas las demás formas de vida a partir de los microbios. La idea de Arrhenius gozó de gran simpatía entre muchos científicos del mundo. Sin embargo, en nuestros días, ha caído en un total descrédito. La principal objeción que se presentó a esta teoría, fue la de que los mortíferos efectos de las radiaciones cósmicas no permitirían la viabilidad de las esporas, a esto se añadirían otras agravantes: el tiempo necesario para alcanzar, aleatoriamente, algún cuerpo celeste propicio; la deshidratación y el vacío, etc. (*).

Estas ideas de la eternidad de la vida recibieron las primeras críticas demoleedoras por parte de Engels, quien señala, en la Dialéctica de la Naturaleza

(34) F.H.C. Crick y L.E. Orgel; (1973). Directed Panspermia, Icarus, 19, 341-346. Es importante señalar que algunos autores contemporáneos como Bartholomew Nagy, George Claus, Douglas J. Hennesey, Warren G. Meinchen y otros, han sostenido, desde 1961, que han identificado muchos microfósiles en diversos meteoritos los conocidos como condritas carbonosas (Orgueil, Alais, Ivuna, Tonk, etc). En torno a estas ideas se ha suscitado un debate. Muchos autores han impugnado las interpretaciones de Nagy y sus colaboradores, indicando que se trata de observaciones erróneas interpretadas o como contaminaciones terrestres. De cualquier manera, las afirmaciones de Nagy han alimentado en los últimos años las ideas de la panspermia. Véase: B.Nagy, W.G.Meinchen y D.J.Hennesey (1961), Ann.N.Y. Acad. Sci., 22, 27-35; B.Nagy, G. Claus y D.J. Hennesey (1962), Nature, 193 (4821), 1129-1133, y, B. Nagy (1966), Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A., 56, 389-398.

(*) V. Oparin, op. y ed. cit. (16) p. 58-67.

que la hipótesis de la "vida eterna" y su importancia presupone la eternidad - de la albúmina (las proteínas), y la eternidad de las formas primigenias, partiendo de las cuales puede desarrollarse todo lo orgánico. Después de indicar que - ambas cosas son inadmisibles, dice: "La afirmación de Liebig de que las combinaciones del carbono son eternas como el carbono mismo resulta dudosa, por no decir que totalmente falsa" (op.cit. p.258). A continuación se pregunta: "¿Es el carbono un elemento simple? De otro modo no podría ser eterno en cuanto tal"; luego aclara que las "combinaciones del carbono son eternas, en el sentido de que, bajo condiciones de mezcla, temperatura, presión, tensión eléctrica, etc., se reproducen - siempre. Lo que hasta ahora no ha afirmado nadie es que, por ejemplo, las combinaciones más simples del carbono CO_2 ó CH_4 , sean eternas en el sentido de que existan en todos los tiempos y, sobre poco más o menos, en todos los lugares, y no en el sentido de que se reproduzcan constantemente, para desaparecer de nuevo a cada paso, naciendo de sus elementos y retornando a ellos". A continuación, - indica Engels que en ese sentido también se puede hablar de la albúmina (las proteínas), es decir, que puede constituirse a partir de sus elementos, como las - otras combinaciones del carbono, pero en condiciones más restrictivas, pues se - trata del compuesto más complejo y más inestable de este elemento, y, asimismo, la albúmina, al igual que las demás combinaciones del carbono, puede descomponerse en sus elementos constituyentes. Ciertamente estas ideas de Engels que tenían un profundo sentido evolucionista, se oponían a las ideas de los "bioeternistas".

En otro párrafo, afirma Engels: "Si alguna vez se consiguiera sintetizar - químicamente cuerpos albuminoideos, inmediatamente presentarían manifestaciones vitales y realizarían intercambios de sustancias, por muy tenues y efímeros que fuesen (...) Sin embargo, mientras no sepamos más de lo que actualmente sabemos acerca de la composición química de la albúmina, no podemos pensar, probablemente antes de que pase un siglo, en sintetizarla artificialmente y, en estas condiciones, resulta

ridículo lamentarse de los fracasos de nuestros esfuerzos". (op. cit. p.259-260, el subrayado es mío).

Con toda seguridad, la vida no es un hecho exclusivo de nuestro planeta, por lo que es de esperarse que se encuentra ampliamente difundida en el universo y en nuestra propia galaxia, pero ello no significa que caigamos en el eternismo de la vida y en las "soluciones" o salidas mágicas, propias de la ciencia-ficción. Las distintas modalidades de la teoría de la eternidad de la vida no resuelven nada, amén de que no es una postura emanada de la ciencia, sino emanada de concepciones prejuiciosas de origen típicamente ideológico, de una visión parcializada de la realidad.

8. CONCEPTOS SOBRE EL ORIGEN DE LA VIDA ENTRE LOS SIGLOS XIX y XX.

Fueron muchos los científicos que a fines del siglo XIX y principios del actual mantuvieron una posición francamente opuesta a las tesis de la eternidad de la vida. No obstante, se empeñaron en la vieja teoría de la generación espontánea, es decir, seguían fielmente profesando un materialismo vulgar que los condujo, no pocas veces, a exageraciones simplistas y groseras. A esto contribuyó, indudablemente, la crisis que padeció el darwinismo en los últimos años del siglo XIX y comienzos del XX. Dicha crisis, a su vez fue en gran parte un reflejo de la crisis ideológica de la época, caracterizada por la bancarrota del liberalismo que antes había nutrido a las teorías evolucionistas. La confianza en el progreso fue sucumbiendo y dejando paso al misticismo y al fijismo. El ambiente ideológico ya no era propicio para mantener viva a la teoría darwiniana. Aquella desconfianza en el progreso se fue acentuando hasta el estallido de la primera guerra mundial.

Otro factor que afectó negativamente a las ideas evolucionistas en la ú

tima década del siglo pasado, fue la falta de conocimientos en el campo de la herencia biológica. Sin embargo, con el redescubrimiento de las leyes de Mendel y la enunciación de la teoría de las mutaciones, a principios del presente siglo, la situación de la teoría de Darwin no mejoró realmente. La selección natural fue relegada a segundo término y las ideas mutacionistas tomaron su lugar, el gene fue exaltado como la esencia misma de la vida.

A pesar de estos extravíos generalizados, no dejaron de producirse algunas ideas orientadoras para una correcta interpretación de las ideas evolucionistas y consecuentemente, de enfoques evolucionistas en torno al origen de la vida, que culminaron con la aparición de los trabajos de A.I., Oparin en 1924 y de J.B. S. Haldane en 1929.

El biólogo alemán Eduard F.W. Pflüger (1829-1910), enunció una idea sobre el origen de la vida en 1875, anotando que eran necesarias ciertas condiciones tanto externas como internas. Entre las primeras señalaba a los factores geológicos que contribuyeron a la aparición de la vida en el pasado. En las segundas insistía especialmente este sabio alemán; en primer término Pflüger definió a la vida como "calor intramolecular" producido por la destrucción oxidativa de ciertas moléculas de albúmina viva (35), o moléculas de proteínas. Por lo tanto, a estas moléculas proteicas asociaba Pflüger la esencia de la vida. Este autor clasificaba a las proteínas en dos grupos: inertes o estructurales y las vivas o funcionales; las primeras se caracterizaban por ser estables y las segundas por inestables. La inestabilidad de las proteínas funcionales las atribuía Pflüger al grupo cianógeno (-CN); en consecuencia, el origen de los seres vivos a partir de la materia inerte estaría en función de ese grupo químico, un grupo muy activo con una gran capacidad para polimerizarse y combinarse con otras sustancias. Otra

(35) T.S. Hall (1969), Ideas of Life and Matter, The University of Chicago Press, Chicago, vol. 2. pp. 351-352.

brillante idea de Pflüger fue la de considerar que el dióxido de carbono (CO_2), nada tenía que ver con el origen de la vida, afirmando: "el dióxido de carbono no es el comienzo sino el fin de la vida" (16,36). Otros científicos habían estimado que el CO_2 debería estar relacionado con el origen de los primeros organismos ya que este gas juega el papel fundamental en el proceso de la fotosíntesis. Un ejemplo de este modo de pensar fue el de F. Allen (en 1899) (16,36). Resulta en verdad extraordinaria la clarividencia de Pflüger en estos dos aspectos del origen de la vida. En la actualidad los estudios experimentales en condiciones geológicas primitivas simuladas, y los astronómicos, han confirmado los atisbos de las ideas de Pflüger sobre el cianógeno (-CN), y la imposibilidad de la utilización del CO_2 en los primeros seres vivos mediante la fotosíntesis.

En 1912 el científico inglés A. Schäffer esbozó una teoría del origen de la vida desde una perspectiva evolucionista, proponiendo tres etapas sucesivas. Primero, -según él-, se dio una evolución gradual del mundo inorgánico, formando se las primeras sustancias orgánicas; luego, en la segunda etapa, la evolución había logrado la producción de sistemas en estado intermedio entre la vida y la no-vida; y, finalmente, aparecieron las primeras formas de vida. Aunque esta idea era demasiado esquemática no hay duda de que significó un gran avance para su época (16,36). Este mismo año, en Rusia K. Timiryazev esbozó una idea semejante.

Los reiterados fracasos de los mecanicistas por encontrar un caso de generación espontánea en el laboratorio, y el sentimiento de desconfianza y de confusión creciente en el futuro de la humanidad (debido al desastre del liberalismo), amén del advenimiento del cálculo de probabilidades, el establecimiento de la segunda ley de la termodinámica y su interpretación estadística por Boltzmann, el redescubrimiento de las leyes de Mendel, el nacimiento de la teoría de las mutaciones, de la Genética de poblaciones y de la escuela morganista, etc., conformaron la base para que algunos mecanicistas introdujeran el concepto de azar o casualidad en sus teorías para poder explicar el origen de la vida por generación espontánea.

Así nació aquella famosa frase del feliz accidente o casualidad afortunada. Es
tos pensadores aseveraron entonces que la vida era un "accidente de la materia".
Explicaron sus fracasos en la generación espontánea o abiogénesis, aduciendo que
la vida es un fenómeno de la materia altamente improbable pues tienen que ser lle-
nados innumerables requisitos al mismo tiempo. Fue entonces cuando el micromerita
mo de las décadas anteriores tomó su forma definitiva en el concepto de "molécula-
viviente" o "molécula-gene". De este modo "superaban" los mecanicistas el proble-
ma del tránsito de la materia inerte a la materia viva; bastaba con investigar cu
mo se llevó a cabo la síntesis de aquella "molécula-gene" para resolver este ane-
jo problema. En consecuencia, ya no era necesario referirse a las móneras o a las
células más evolucionadas o complejas, la generación espontánea se reducía a la
generación de una "molécula-viviente" (*).

Los ejemplos de este modo de pensar se pueden contar por decenas, -aún en
nuestros días-, pero destacaron especialmente Thomas Hunt Morgan (1866-1945), quien
a fines de la década de los años veinte presentó la teoría de que las primeras -
formas de vida habían sido, en rigor, genes desnudos. Otro ejemplo fue H.J. Mü-
ller, que ha difundido ideas análogas en diversas publicaciones, hasta los años -
sesenta. Señala que el gene es el fundamento de la vida; se trata, nos dice, de
una especie de molécula gigante. "La base de la primera substancia viva estuvo in-
tegrada por genes" (**). En 1947, Müller afirma: "El origen de la vida coincidió
con la aparición de esta substancia" (ibid). En la actualidad estas opiniones go-
zan de gran simpatía entre los biólogos moleculares.

Una variante de estas ideas fueron las de aquellos que otorgaban a los vi-
rus el papel de pioneros en el origen de la vida. Estas concepciones, sin embargo,
han caído en el descrédito.

(*) En el siguiente capítulo mostraré detalladamente como esta tesis también desem-
boca en el vitalismo y es una argumentación, en parte, de los vitalistas.

(**) Citado por Oparin, op.cit.(16) p. 85

8.1. LA BIOLOGIA SINTETICA Y LOS TRABAJOS DE ALFONSO L. HERRERA.

Hubo otro grupo de investigadores que más que especular se dedicaban a experimentar, sólo que los resultados de sus trabajos de laboratorio eran interpretados también a la manera simplista del mecanicismo. Estos investigadores intentaban dar respuesta al problema empleando para ello el método experimental, con fines de producir algunos "modelos" de células vivas. Así, por ejemplo, el alemán M. Traube en trabajos publicados entre 1866 y 1867, señala que colocó en una solución de ferrocianuro de potasio un cristal de sulfato cúprico, y que en la superficie de contacto entre los dos reactivos se formaba una membrana de ferrocianuro cúprico, que es insoluble en agua. Dicha membrana es semipermeable o selectiva, dando lugar a intercambios iónicos. Conforme se disuelve el sulfato cúprico la presión osmótica aumenta hasta que la membrana llega a su extensión máxima y se rompe. Esto pone en contacto a los reactivos nuevamente y produce de nuevo la membrana en los puntos que quedaron destruidos, iniciándose una nueva etapa de crecimiento. Traube interpretó estos hechos como auténticas imitaciones de células en crecimiento y como una explicación de las causas fisicoquímicas del crecimiento celular (*). Experimentos e interpretaciones semejantes fueron realizadas por Bütschli (1892), y Rhumbler y Leduc (1907). Aquellos experimentos proliferaron enormemente, llegando se al exceso de proclamar el nacimiento de una nueva ciencia: la "Biología Sintética", que versaría sobre la producción artificial de células a partir de sustancias inertes.

No resulta en verdad difícil refutar estas apreciaciones tan superficiales. Como señala Oparin, esto es tanto como confundir a una estatua con un hombre sólo porque aquélla imita su forma.

De muy particular interés son los trabajos realizados en México por Alfonso

(*) A.I. Oparin, op. y ed. cit. (36) pp. 54-55

so L. Herrera (1868-1942), verdadero precursor del estudio científico, experimental, del origen de la vida. Con ese objeto fundó la llamada ciencia de la plasmogénia (1911), la cual mencionó por primera vez en su libro Nociones de Biología (1904). La plasmogénia se difundió por todo el mundo, a ella se adhirieron investigadores como Leduc, Bütschli, Kickick, Benedikt, Jules Felix y otros. Este Gitimo, de nacionalidad belga, fundó un "Instituto Internacional de Plasmogénia". Por su parte, Alfonso L. Herrera fundó el "Boletín de Plasmogénia" y la "Sociedad Internacional de Plasmogénia" (37).

El ilustre biólogo mexicano definió a la plasmogénia como la "ciencia experimental que tiene por objeto el origen del protoplasma" (38).

Durante 43 años, Alfonso L. Herrera se dedicó a investigar el origen del protoplasma, produciendo más de doscientos trabajos publicados. Sus pesquisas se tradujeron en la producción de dos tipos de fenómenos: los colpoides y los sulfobios. Los primeros eran modelos que simulaban notablemente muchas actividades de los protozoarios. Por ejemplo mezclaba aceite de oliva con gasolina y a esta mezcla agregaba, gota a gota, una solución concentrada de hidróxido de sodio a la cual se había añadido el colorante hematoxilina; el resultado era, según señala Herrera, la formación de "células macroscópicas que exhibían movimientos amiboides con corrientes intracelulares y fisión celular" (39).

Los sulfobios eran modelos microscópicos obtenidos en multitud de formas que también imitaban, sorprendentemente, las formas y estructuras de células y microorganismos. Uno de los procedimientos que siguió para conseguir dichos modelos o artificios, fue el siguiente: disolvía tiocianato de amonio en aldehído fórmico (formol), y extendía una muestra de esta mezcla en capas muy delgadas (en un porta

- (37) E. Beltrán (1968), Alfonso L. Herrera, Primera Figura de la Biología Mexicana, Rev. Soc. Mex. Hist. Nat., vol. XXIX, 37-111
(38) A. L. Herrera (1924), Biología y Plasmogénia, Ed. Herrero, México, pp. 37-42.
(39) A. L. Herrera (1942). A New Theory of the Origin and Nature of Life, Science 96 (2479), 14.

objetos, por ejemplo), abandonándola por espacio de varias horas y luego la observaba al microscopio (39). Este experimento lo repitió durante diez años y obtuvo, de esta manera, miles de formas que imitaban células de diverso tipo. Algunas de estas muestras las envió a Oparin a fines de los años treinta; éste las dio a un famoso microscopista quien no sólo las identificó como células auténticas sino que incluso las clasificó (40). Otros ultrabios los producía Herrera a partir de material inorgánico.

Resulta de importancia significativa el que Herrera haya empleado el aldehído fórmico en este tipo de experimentos, así como el tiocinato de amonio. La idea de usar el formol se la sugirió la teoría (entonces en boga), que explicaba la formación de azúcares en las plantas verdes, y el empleo de tiocinato le vino a la mente porque Pflüger había señalado que la vida era debida al cianógeno. Actualmente se ha descubierto el formol en el espacio interestelar y en los productos intermedios obtenidos en los experimentos en condiciones probióticas simuladas. Igualmente, el cianógeno se ha encontrado en sus formas derivadas (ácido cianhídrico HCN, radical cianuro -CN, etc.). Señaló, además, que la adenina puede considerarse un pentámero del HCN (ref. 38, p.143). Por otra parte, mediante estos experimentos, fácilmente obtuvo algunos aminoácidos y hasta algunos péptidos. En consecuencia, se puede decir que Alfonso L. Herrera fue el primero que, con miras a desen- trañar el origen de los seres vivos (del protoplasma, como él señalaba), sintetizó sustancias de importancia biológica por vía abiogénica, es decir sin el concurso de seres vivos (*)

(40) En S.W. Fox, ed. (1965) The Origins of Prebiological Systems and of Their Molecular Matrices, Academic Press, p. 357. Una traducción de esta anécdota puede encontrarse también en: R.N. Ondarza, ed. (1970) Introducción a la Biología Moderna, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 50-51.

(*) Podría considerarse a W. Loeb el primero en sintetizar abiogénicamente aminoácidos (v. infra), en 1913, pero él no lo realizó con miras a estudiar el origen de la vida. Por otra parte, W. Groth y H. Suesse en 1938, hicieron experimentos expresamente dirigidos a demostrar la formación de sustancias orgánicas de interés biológico, en condiciones hipotéticas de la atmósfera terrestre primitiva, pero este trabajo fue posterior a los experimentos de A.L. Herrera.

Sin embargo, las interpretaciones de A.L. Herrera no fueron del todo -
afortunadas, como no lo fueron tampoco las pretensiones de la plasmogenia por él
fundada. Efectivamente, se nota en su pensamiento la influencia perniciosa del -
mecanicismo y hasta una ingenua interpretación hilozoista del cosmos. Refiriendo
se a la generación espontánea, dice: "Se ha buscado precisamente donde nunca debe -
producirse: en condiciones artificiales, no en las naturales o su imitación". En
otra parte dice: "Las discusiones y experimentos de Pasteur y Pouchet han tenido
como base esta idea; ¿la generación espontánea es posible en los medios de cultivo
de los laboratorios, es decir, en los medios orgánicos, en los caldos, en el hue-
vo?. Esta manera de presentar el problema ha sido sofística, porque nada dice a-
cerca del origen de semejantes medios orgánicos. Si se verificase en ellos la ge-
neración espontánea, subsistiría esta grave objeción: si son indispensables para -
que aparezca la vida ¿cómo se formaron cuando aún no había vida y organización?
(...) Es evidente que las hipótesis exclusivistas del origen de la vida son con-
trarias a la unidad de la naturaleza, (...) pues las diferencias entre las activi-
dades fisicoquímicas de las celdillas (células) vivientes actuales y las artificia-
les o las no vivientes son sólo de grado y no de esencia (*). No hay hechos únicos
en la naturaleza y la vida no podría serlo, existiendo transiciones innumerables en-
tre el ser organizado y la materia inorgánica (...) en el fondo son pueriles las -
discusiones sobre el asunto porque la unidad de la naturaleza es el electrón y -
los diferentes cuerpos llamados simples, los aspectos y propiedades de la materia
corresponden solamente a diversas agrupaciones de electrones (**). Por esto es que
la forma y estructura celular se están encontrando en todas partes y es probable -
que las funciones celulares aparezcan también por doquiera, demostrándose así la
universalidad profunda de la vida" (!) (***)

(*) El subrayado aquí es mío

(**) Subrayado de A.L. Herrera.

(***) Op. y ed. cit. pp. 156-165.

En resumen, la teoría de Herrera, basada en los sulfuros que había producido, establecía que las formas orgánicas se producían a partir de "células inorgánicas" por un proceso de sustitución del material original por otros materiales, de naturaleza albuminoida. Como hemos visto, este sería, en rigor, sólo un tipo - de vida, pues la vida es inherente a toda la materia, según Herrera.

8.2. HIPOTESIS DE OPARIN.

El año de 1924, un joven bioquímico ruso, Alexandr Ivanovich Oparin (n. 1894), publicó un librito llamado *Proiskhozhdenie Zhizny* (41), (El Origen de la Vida), de apenas unas 36 páginas. En dicha obra, después de un análisis histórico - de la generación espontánea y otras ideas anteriores, Oparin exponía una novedosa hipótesis acerca del origen de la vida desde una perspectiva evolutiva. Consideraba en primer término, y en concordancia con los experimentos de Pasteur y Tyndall, que era indispensable la ausencia total de vida previa para que esta apareciera - por generación espontánea (*). pues cualquier evolución de compuestos de importancia biológica que se diera en nuestros días no llegaría lejos en su desarrollo, - pues serían devoradas por las ubicuas bacterias que habitan en el suelo, el aire, y el agua. Así Oparin indica que el problema debe remontarse al pasado, en condiciones terrestres muy distintas a las actuales que permitieron la síntesis y la - evolución ulterior de los compuestos de carbono hasta formar sistemas polimoleculares capaces de realizar algunas funciones metabólicas, los que él llamó protobiontes. Estos primeros organismos se nutrían del propio material orgánico sintetizado por vía abiogénica, por lo tanto, se trataba de organismos heterótrofos. De - este modo se descartaba la vieja creencia, presente en otras hipótesis, de que los primeros seres vivos tenían que haber sido autótrofos, lo cual había constituido -

(41) A.I. Oparin (1924), Proiskhozhdenie zhizny; trad. al inglés (The Origin of Life) por Ann Synge y publ. como apéndice en: J.D. Bernal (1967) The Origin of Life, The World Publ. Co., Nueva York, pp. 199-234. Cabe destacar que estas ideas fueron expresadas por Oparin antes, en 1921, en un trabajo que este autor - presentó a la Sociedad Botánica Rusa

(*) Esto nos hace recordar la carta de Darwin a Hooker, en 1871 (Supra II, 6.1.)

un callejón sin salida; Oparin criticó acertadamente aquellas ideas del autotro-
fismo, indicando que un sistema capaz de realizar la fotosíntesis o la quimiosín-
tesis habría sido demasiado evolucionado para equipararlo a los primeros organis-
mos.

La hipótesis de Oparin abrió las puertas a la investigación científica so-
bre el origen de la vida. Por primera vez se elaboraba una idea coherente con -
los hallazgos científicos y la teoría evolucionista. Empero, todavía en su prime-
ra versión, el libro de Oparin muestra las deficiencias del materialismo mecanicis-
ta que había penetrado tan profundamente en las ciencias naturales. Así se manifi-
sta cuando dice que en la célula viva no hay nada de peculiar o misterioso, nada -
que no pueda explicarse en términos de las leyes generales de la física y la quími-
ca, aún el metabolismo le parecía algo que no tenía que ver con supuestas "peculia-
ridades de la vida". Todo lo explicaba Oparin en razón de las fuerzas físicas; así
la división celular tomaba lugar, según su opinión de entonces, en virtud de fuer-
zas físicas definidas (atracción capilar, tensión superficial); comparaba a menu-
do las células con los cristales, etc. (2). Por lo tanto, "la vida -decía Oparin-
no está caracterizada por algunas propiedades especiales sino por una definida y
específica combinación de esas propiedades" (op.cit. p.217). En cuanto a la apari-
ción de los primeros seres vivos, es decir, de la transición de la materia inerte -
a la materia viva, Oparin explicaba que esto sucedió cuando los compuestos orgáni-
cos adquirieron su máxima complejidad, formando coloides con el agua, los cuales -
por diversas alteraciones se precipitaron en forma de geles. "El momento en el cual
el gel fue precipitado o el primer coágulo fue formado, marcó una etapa extremada-
mente importante en el proceso de la generación espontánea de la Vida. En este mo-
mento el material que anteriormente carecía de estructura adquirió por primera vez
una estructura, tomando lugar la transformación de los compuestos orgánicos en un

(2) op. y ed. cit. (41) pp. 214-215.

cuerpo orgánico. Y no solamente esto, sino que al mismo tiempo el cuerpo adquirió individualidad (...). Con ciertas reservas, podemos incluso considerar esa primera pieza de límo orgánico que se formó en la Tierra como el primer organismo. De hecho debió haber tenido muchas de las características que ahora consideramos típicas de la vida " (").

Estas declaraciones y otras, como la de hablar de selección natural y de lucha por la existencia en los cristales, configuraban un marco teórico muy tendido de mecanicismo.

En 1936, Oparin publicó una edición totalmente revisada de su obra, con - substanciales modificaciones. La primera consistió en señalar que la atmósfera - primitiva de la tierra debió estar desprovista de oxígeno (atmósfera reductora), y la segunda, fue respecto a la transición hacia los primeros seres vivos mediante el proceso, previo, de la coacervación, o formación de coacervados. Ahí, nos dice: "Para iniciarse la vida era necesario que los coacervados y los sistemas - coloidales similares adquirieran, en el curso de la evolución, propiedades de orden superior aún, propiedades sujetas a las leyes biológicas" ("). En la cita anterior se advierte un giro bastante considerable respecto a sus primeras concepciones teóricas, abandona los esquemas simplistas del mecanicismo y marca derroteros mucho más claros desde el punto de vista metodológico. Indudablemente que en esto influyó el pensamiento de Engels, al cual no pudo leer antes de 1925, año en que se publicó por primera vez la Dialéctica de la Naturaleza.

Mucho se ha dicho de la influencia de Engels en la hipótesis original de Oparin; muchos argumentaron que aquella hipótesis era el producto de la aplicación del pensamiento marxista, especialmente el de Engels, pero como atinadamente apunta Loren R. Graham, "hay pruebas muy concluyentes contra la creencia de que Oparin y Haldane aplicaban la doctrina marxista en 1924 y 1929" (42), como podrá constar-

(*) A. I. Oparin (1957), The Origin of life, ed. cit. (36), Trad. al inglés (1938) de la segunda ed. rusa (1936). p. 162.

(42) L. R. Graham (1976), Ciencia y Filosofía en la Unión Soviética, Ed. Siglo XXI, México, pp. 248-295.

tarde a continuación. Esto no invalida las tesis de Engels, al contrario, de - muestra cuán adelantado estaba a su tiempo, a tal grado que los pasos posteriores de Oparin estuvieron encaminados por las ideas de Engels. Oparin se despojó del mecanicismo, en su mayor parte, gracias al pensamiento engelsiano.

Incluso, Oparin ha lanzado críticas certeras al mecanicismo y al vitalismo desde la segunda edición de su obra y en otras publicaciones posteriores.

La hipótesis de Oparin, por otra parte, recibió el respaldo experimental - cuando en 1953 Harold C. Urey y Stanley Miller (43) reprodujeron en el laboratorio una "atmosfera primitiva" con agua, hidrógeno, amoníaco y metano y la sometieron a descargas eléctricas, obteniendo aminoácidos y otros productos de interés biológico. Desde entonces se inició una búsqueda por desentrañar uno a uno los problemas de la génesis de los primeros seres vivos en distintos centros de investigación - en el mundo.

8.3. HALDANE EXPONE UNA HIPOTESIS SEMEJANTE.

En Inglaterra, el año de 1929, otro bioquímico, John B.S. Haldane (1892-1964), publicó un artículo en "Rationalist Annual", de apenas ocho páginas, titulado: The Origin of Life, en el cual su autor exponía ideas muy similares a las de Oparin en 1924. Estimaba que la atmosfera primitiva de la Tierra contenía poco oxígeno o carecía de él y en cambio abundaban el amoníaco, el dióxido de carbono y el vapor de agua. Con dicha mezcla se formarían compuestos orgánicos, los cuales acumulados en los océanos primitivos llegarían a formar una "sopa diluida caliente" (44), a partir de la cual se constituirían los primeros organismos vivos, - los que encontrarían el alimento disponible en cantidad suficiente y no tendrían competidores en la lucha por la existencia. "Los primeros seres vivos o semi-vivos -dice Haldane-, eran, probablemente, grandes moléculas sintetizadas bajo las

(43) S.L. Miller; (1953). A Production of Amino Acids Under Possible Primitive - Earth Conditions, Science, 117 (3046), 528-529.

(44) J.B.S. Haldane; (1929), The Origin of Life, Rationalist Annual, Pub. como apéndice en J.D. Bernal, The Origin of Life, ed.cit. pp. 242-249.

influencia de la radiación solar y solamente capaces de reproducirse en el medio particularmente favorable y en el cual se había originado" (p.247, op.cit.) Se presentó aquí un caso paralelo al de Darwin y Wallace: dos investigadores, independientemente, llegaron a las mismas conclusiones.

Las interpretaciones mecanicistas no se dejaron esperar tampoco en este caso, Haldane equiparó a las primeras estructuras vivientes con los virus. Como se puede ver en la cita hecha anteriormente, hablaba de "grandes moléculas", lo cual se avenía perfectamente al esquema simplista, mecanicista, muy en boga en aquel tiempo.

9. CONCLUSION GENERAL.

Hemos hecho un largo recorrido por la historia del pensamiento alrededor del origen de la vida, desde el mito hasta la ciencia. Hemos presenciado la larga vida de la teoría de la generación espontánea, emanada de la observación directa e inmediata desde épocas muy remotas. Dicha teoría llenaba básicamente todo el contenido de los mitos cosmogónicos de la Antigüedad de los que más tarde se alimentó la ciencia encarnada en la filosofía. Resulta obvio que la tremenda complejidad que entraña el problema del origen de los seres vivos, no podía ser resuelto con los recursos teóricos de los hombres antiguos o del Medioevo, que tenían su origen en las precarias prácticas que el desarrollo social permitía, basado en la división del trabajo y de las clases sociales, de manera tal, que los filósofos o científicos, al servicio de las clases dominantes, despreciaban el experimento por que era rebajarse a la categoría de esclavo o de siervo. La revolución científica, nacida de la crisis del feudalismo, vinculó la práctica, la experiencia metódica, con el razonamiento, y se abrió una perspectiva distinta para el problema del origen de los seres vivos. La nueva ideología, el materialismo mecanicista, desplazaba a la religión en el panorama histórico al cual se avenía mejor la aceptación de la generación espontánea, que racionalizaban de cien maneras los científicos y fi-

lósofos representantes de dichas ideas. La impotencia de esta corriente ante la complejidad del problema, por una parte, pero de otra, el gran desarrollo alcanzado por la ciencia gracias a la revolución industrial, abrió por primera vez la posibilidad, el planteamiento y el enfoque correcto de este enorme problema. La hipótesis de Oparin-Haldane pudo darse, por tanto, gracias a que la sociedad había gestado una ciencia con los dispositivos necesarios para abordarlo en su contexto real, histórico, libre de atavismos, y gracias también a la crisis de la ideología dominante, llena de insuperables contradicciones, especialmente denunciadas por Engels en su obra magistral, "Dialéctica de la Naturaleza".

La hipótesis de Oparin-Haldane significó un salto cualitativo en la ciencia biológica y natural, dicha idea es equiparable a la teoría de Darwin y al descubrimiento de la doble hélice del ADN hecha por Watson y Crick. Los grandes hallazgos experimentales y de otro tipo sobre el origen de la vida, y los hallazgos de la Biología Molecular, viene a ser dos elementos fundamentales que consolidan plenamente la teoría biológica fundamental, la teoría de la evolución, y sientan las bases para la construcción científica de una imagen histórica del universo.

La ciencia, por lo tanto, ya no considera a la generación espontánea a la manera ingenua de los siglos pasados, la considera válida, pero en una perspectiva histórica, evolutiva.

"Alcanzar el más alto grado de conocimiento es penetrar en la naturaleza de las cosas"

Poema chino del Che-king.

TEORIAS ACERCA DE LA NATURALEZA DE LA VIDA.

1.- NATURALEZA DE LA VIDA.

Generalmente, al referirse al problema de la naturaleza de la vida se suscita la pregunta: ¿qué es la vida?, cuya respuesta implica algún tipo de definición. Se han propuesto muchas definiciones de este concepto sin que exista un pleno acuerdo entre los científicos respecto a ellas; y es que al definir la vida de alguna manera se define, también, una postura filosófica determinada frente a ella, puesto que un problema de esta índole no puede desligarse del ámbito ideológico (v. supra, I, 1.4, 1.5, 2 y 3). Esto conlleva a otra cuestión que está implícita en la anterior, y que es de orden epistemológico, es decir, que apunta hacia la posibilidad del conocimiento de la naturaleza viviente.

En virtud de lo antedicho, es frecuente descubrir detrás de cada definición de la vida una concepción ideológica que puede ser materialista o idealista. La primera puede ser mecanicista o dialéctica (supra, I, 2 y 3), la segunda siempre presenta los mismos rasgos esenciales que caracterizan al vitalismo; en efecto, - cualquier definición de tipo vitalista expresa que la vida está fundamentada en un principio inmaterial (mneme, psique, entelequia, principio o fuerza vital, élan vital, impulso interno, finalidad interna, teleonomía etc.), el cual no es posible aprehender y explicar por medio de la ciencia; por consiguiente, para el vitalista la materia es la antítesis de la vida, o bien, es un simple vehículo, un pretexto, una comparsa, del principio vivificador. A esta postura agnóstica se opone la concepción materialista que emana del propio desarrollo de la ciencia, pero no en su forma metafísica o mecanicista sino en su forma dialéctica toda vez que el mecanicismo es un materialismo incompleto o inconsecuente como se verá en este capítulo.

En consecuencia, la finalidad de este capítulo no es la de establecer -

una definición determinada de la vida, sino la de analizar las distintas concepciones filosóficas o ideológicas contenidas en las principales corrientes del pensamiento biológico contemporáneo, en relación con la naturaleza de la vida y, naturalmente, con su origen. De este modo, se dispondrá de un marco de referencia más adecuado cuando en su oportunidad se trate el problema del tránsito de la materia inerte a la materia viva (infra, V,3.1.), lo cual encierra la necesidad de una definición.

Por otra parte, debe entenderse el concepto de vida como la categoría biológica fundamental, es decir, como el concepto característico y de mayor extensión de la Biología y cuya definición no implica la enunciación exhaustiva de todas las cualidades inherentes a la vida, sino únicamente de aquellas que son peculiares o exclusivas de ella, ya que definir es distinguir un objeto o un proceso a través de sus propiedades fundamentales específicas. Así, entonces, la pregunta ¿qué es la vida?, puede formularse, de modo más preciso: ¿cuáles son las características comunes y distintivas de los seres vivos?. A continuación se analizarán diversas respuestas a esta interrogante y su fondo filosófico.

2. VITALISMO Y MECANICISMO EN EL SIGLO XX.

En la actualidad está muy difundida entre los biólogos la creencia de que el vitalismo, como doctrina filosófica dentro de la Biología, es cosa del pasado. Pero este juicio es totalmente falso y el lector podrá percatarse de ello a lo largo de este capítulo.

Respecto al mecanicismo, éste tampoco ha muerto, si bien se encuentra en decadencia total y muy confundido.

En virtud de lo que se ha señalado en los dos capítulos anteriores, puede inferirse que el vitalismo y el mecanicismo contemporáneos están ligados, sin duda, a las doctrinas filosóficas o ideológicas hoy día dominantes. Por otra parte, cabe recalcar aquí que la respuesta a la pregunta ¿qué es la vida? estará en cierta medida relacionada con alguna de estas corrientes del pensamiento biológico.

2.1. DOCTRINAS BIOLÓGICAS A PRINCIPIOS DEL SIGLO.

La última década del siglo pasado y los primeros años del actual fueron escenario del advenimiento de la fase imperialista del capitalismo, del fracaso de la doctrina liberal, del apogeo de la filosofía irracionalista de Nietzsche y del empirismo vulgar de Mach y Avenarius. Este estado de cosas determinó en gran medida una "crisis" aguda de la teoría darwiniana de la evolución. Otra determinante del aparente fracaso de las ideas de Darwin, fue la carencia de conocimientos que explicaran la variación genética, lo cual hacía caer al darwinismo en la teoría de la herencia de los caracteres adquiridos, enunciada por Lamarck.

Esta situación era vista con beneplácito por los biólogos y los filósofos idealistas.

Todavía en la década del veinte, el biólogo vitalista Jakob von Uexküll - declaraba: "Estamos en vísperas de una bancarrota científica cuyas consecuencias aún son incalculables. Hay que borrar al darwinismo de la serie de Teorías científicas (...) Ciertamente que para el gran público los dogmas de esta doctrina, convertida en una especie de religión, aún será moneda corriente durante años. Pero los biólogos experimentales se apartan silenciosamente de ella, uno tras otro, y pronto tendrán que seguirlos los biólogos descriptivos" (1). Asimismo, este autor, partidario de la inmutabilidad de las especies, se mofaba de los fracasados intentos para demostrar la evolución por vía del experimento (cita el caso de un biólogo germanista de nombre Schrankewitsch, que pretendía haber observado la sucesiva transformación de una especie en otra en una pequeña población de cangrejos de mar). Por ello, se atrevía a aseverar sin turbaciones [que la teoría de Darwin no aportaba ninguna prueba experimental], y pregona el triunfo del vitalismo (2).

(2) Hubo, desde luego, algunos filósofos y biólogos idealistas que apoyaban a la teoría de la evolución de Darwin pero interpretada a su manera, tal fue el caso de Bergs y de Weismann.

(1) J. von Uexküll; (1922), Ideas para una concepción biológica del mundo. Ed. Calpe, Madrid, pp. 11-12, -Estas tesis del referido autor fueron mantenidas con más fuerza en la segunda edición de este libro, en 1945.

Otros biólogos vitalistas, como Hans Driesch (fundador del neovitalismo), y Emmanuel Rádl, lanzaron una verdadera cruzada contra el darwinismo.

A todo esto, indudablemente contribuyó el redescubrimiento de las leyes de la herencia de Mendel (1900), y la teoría de las mutaciones de De Vries (1901), así como la escuela morganista de la Genética. Estos hechos en realidad reforzaban el darwinismo en vez de refutarlo.

Ya en el capítulo anterior indiqué que no fueron pocos los mecanicistas que atacaron al darwinismo por no tener una base experimental.

No debe pasarse por alto que también los grandes descubrimientos en la física como la Teoría cuántica, la relatividad, etc., tuvieron repercusiones sobre el modo de pensar de la mayoría de los biólogos y filósofos de las primeras décadas de nuestro siglo. (infra, III, 3).

A pesar de ese panorama generalizado, había algunos otros científicos que defendían el evolucionismo. Uno de los más notables fue Alfonso L. Herrera. El ilustre sabio mexicano refutaba del modo siguiente a los antidarwinistas: "Pasados han de quedar los cazadores, colectores de museos, campesinos, etc., cuando lean en las obras de Cuénot y otros iconoclastas que el mimetismo, la homocromía y demás medios de defensa son ilusorios, inútiles, inexplicables en sus efectos. Si las garzas y perdices salen de los pies del cazador y aún ya muertas no se encuentran, si los insectos -hojas o transparentes se pierden en los tonos del medio, si el caballito marino de las algas está desgarrado como ellas, si las liebres son del color de la tierra, etc., etc., nada de esto es ventajoso para las especies y les sería igual tener cualquier color, cualquier forma, cualquier medio de ocultarse, escaparse o defenderse !

Esto es inaudito y parece que los sabios han perdido el juicio... Desafío al más ciego partidario de Raband, Osborn y otros antidarwinistas a que me acompañen al campo y demuestren con hechos, que ven lo que se oculta y vencen siem-

pre a lo que se defiende" (2)

En estas palabras de A.L. Herrera se demuestra lo endeble que resultaban las especulaciones de los antidarwinistas.

En lo que sigue analizaré las tesis fundamentales del positivismo contemporáneo como principal substrato del pensamiento vitalista actual.

3. EL NEOPOSITIVISMO Y EL VITALISMO CONTEMPORANEO.

Después de la 1ª. Guerra Mundial la situación del mundo capitalista se hizo más crítica, el pesimismo substituyó a la ya maltrecha idea del "progreso" que predominaba a mediados del siglo XIX. En los años veinte surge el fascismo y en los años de 1929-1933 hace su aparición la primera gran crisis económica del imperialismo. Por otra parte, en 1917 se realiza la Primera Revolución Socialista, lo cual atemorizaba a los intereses capitalistas de Occidente.

Todo aquello se reflejó indiscutiblemente en el pensamiento filosófico; fue en ese periodo cuando hizo su aparición el existencialismo, la ideología fascista y el neopositivismo.

3.1. ANTECEDENTES Y RASGOS FUNDAMENTALES DEL NEOPOSITIVISMO.

El neopositivismo, "tercer positivismo", "empirismo lógico", "filosofía de la ciencia" o "nuevo positivismo", comenzó a formarse antes de 1920 y se consolidó formalmente en 1928, en el llamado "Círculo de Viena", bajo la presidencia de Moritz Schlick (1882-1936). El neopositivismo es sin duda la corriente filosófica burguesa contemporánea más influyente, (como se mostrará a continuación), la cual en la actualidad no conserva todas sus características originales. La cuna de esta doctrina puede ubicarse en Inglaterra, Austria y Polonia, simultáneamente (3).

(2) A.L. Herrera (1974), Biología y Plasmoenergía, Ed. Herrero, México, p.475. El subrayado es mío.

(3) M.A. Dymnik (1966), Historia de la Filosofía, Ed. Grijalbo, México, vol. VII, p. 79.

Sus antecedentes inmediatos se sitúan en el llamado "segundo" positivismo o empiriocriticismo y, anterior a éste, en el positivismo de Comte.

El positivismo, en general, tiene sus raíces históricas en el empirismo - inglés de George Berkeley (1685-1753) y David Hume (1711-1776).

A su vez, la tesis central del empirismo (cuyos precursores fueron Francis Bacon (1561-1626) y John Locke (1623-1704), es que las ideas y el conocimiento surgen únicamente de la experiencia, a través de nuestros órganos sensoriales; al contrario del racionalismo de Descartes (1596-1650), que propugna por un conocimiento a priori, es decir absolutamente al margen de la experiencia, mediante el puro razonamiento a través de las ideas innatas.

Sin embargo, el empirismo de Berkeley y Hume era de carácter idealista subjetivo; "ser es ser percibido", decía Berkeley. Para éste, el mundo exterior existe porque es percibido: "el mundo nace y muere conmigo; al cerrar y abrir los ojos creo y destruyo el mundo" (*), todo lo cual llevaba a Berkeley al solipsismo (sólo yo existo).

Por su parte, Hume era más moderado en sus apreciaciones filosóficas. Se puede calificar la filosofía de Hume como escepticismo absoluto: duda de todo y todo para él es incierto; considera que no es posible demostrar la existencia o la inexistencia del mundo exterior: "¿con qué argumento puede probarse que las percepciones deben ser suscitadas en nuestra mente por objetos exteriores (...), y que no pueden ser debidas bien a la sugestión de algún espíritu invisible y desconocido o bien a cualquier otra causa más desconocida? (...) ¿Cómo puede resolverse esta cuestión?" (**), se preguntaba Hume, y desde luego no podía responderse. Para Hume, la creencia en el mundo exterior es un acto de fe.

De lo anterior se desprende que estos autores niegan la posibilidad de co-

(*) Op.cit. (3), vol. 1, p. 386.

(**) Citado por M.A. Dynník, op. y ed.cit. (5) vol. I, p. 390.

nocer el mundo, o sea, practicaban el agnosticismo.

Este empirismo subjetivo más o menos alterado sirvió a Augusto Comte - - (1798- 1857), para edificar su filosofía positivista (o positivismo), con lo cual interpretaba a la historia humana a través de su "ley de los tres estados". Fiel a la tradición filosófica de Hume, Comte negaba el principio de causalidad, por ende, la ciencia sólo puede describir los objetos o los procesos, pero no explicar los. De ahí el carácter enciclopedista y anárquico de la enseñanza de las ciencias, aún en nuestros días dominadas por el positivismo comtiano (*). Para el citado autor sólo es válido el conocimiento adquirido por la experiencia directa, por el método positivo, es decir: por la ciencia. Todo lo que no cumpla con estos requisitos no es ciencia, es metafísica pura.

Los dogmas comtianos, naturalmente, tenían como fin justificar el orden social establecido y no permitir cambio alguno, lo cual se plasma en su "ley de los tres estados", que señala al estado actual o estado positivo (basado en el conocimiento científico), como la culminación total de la historia humana.

Más tarde, Spencer representó al positivismo a través del llamado darwinismo Social que justificaba la política del racismo y del saqueo imperialista.

La tradición positivista estuvo encarnada durante las últimas décadas del siglo XIX y primeras del XX por el empiriocriticismo, doctrina fundada por Richard Avenarius (1843-1896), cuyo seguidor más notable fue Ernest Mach (1838-1916), físico austríaco interesado en la filosofía.

En el empiriocriticismo es más notable la influencia de la filosofía de Berkeley y de Hume, que en el caso del positivismo comtiano. La idea central de Avenarius, la "experiencia pura", lo pone de manifiesto. Así, nos dice Avenarius: "Hemos reconocido que lo existente es una substancia dotada de sensibilidad; quitando la substancia queda la sensación: lo existente hay que concebirlo, por eso, lo existente es sensación".

(*) Esto es especialmente cierto para México y los países latinoamericanos.

como una sensación en cuya base ya no hay nada que sea ajeno a la sensación" (4). A su vez, Mach señala en su libro Análisis de las Sensaciones, que "No son los cuerpos los que originan las sensaciones, sino los complejos de elementos (elementos de sensaciones) los que forman los cuerpos" (*). En otra parte, Mach declara: "(...)debemos limitar nuestra ciencia física a la expresión de hechos observables, sin construir hipótesis detrás de estos hechos, donde nada existe ya, que pueda ser concebido o probado" (5). Considera, asimismo, que los átomos al igual que las substancias son productos mentales (6). De este modo, nuestro referido autor en base a su principio de "economía del pensamiento", concibe que las leyes científicas sólo son convenciones arbitrarias de tipo pragmático.

Uno de los fines del empiriocriticismo era el de superar tanto al materia-
lismo como al idealismo.

Ahora bien, el rasgo distintivo del neopositivismo o empirismo lógico, es el análisis lógico del lenguaje de la ciencia. En efecto, a esta escuela del "Círculo de Viena" no le interesa el problema de las sensaciones o de la experiencia - sino el significado del lenguaje. En este sentido plantean la necesidad de la depuración lógica del lenguaje científico, que evite ambigüedades y falsos problemas.

Uno de los principales precursores del empirismo lógico, Ludwig Wittgenstein en su obra Tractatus Logico-Philosophicus, declara que: "La mayor parte de las proposiciones y cuestiones que se han escrito sobre materia filosófica no son falsas, sino sin sentido. No podemos, pues, responder a cuestiones de esta clase de ningún modo, sino solamente establecer su sinsentido" (7). Para saber si un enunciado o -

(4) Citado por V.I. Lenin (1962), Materialismo y Empiriocriticismo, Ed. Pueblos Unidos, Montevideo pp.40-41.

(*) V.I. Lenin, op.cit. (4) p. 51.

(5) En: R. Blanché, ed. (1972), El Método Experimental y la Filosofía de la Física, Ed. Fondo de Cultura Económica, pp.315-320.

(6) E. Mach (1949), Desarrollo Histórico Crítico de la Mecánica, Ed. Espasa-Calpe, Bz. As. p. 407.

(7) L. Wittgenstein (1973), Tractatus Logico-Philosophicus, Alianza Editorial, Madrid, 4.003.

una proposición tiene sentido es menester el análisis lógico de ese enunciado. Es aquí donde intervienen las llamadas "proposiciones protocolarias" de Carnap, o bien las "proposiciones elementales" o "atómicas" de Wittgenstein y de Russell (3, 7,8). Esta proposición "básica" o "protocolaria", es aquella que puede ser verificada con los datos de la experiencia o bien emana de ellos. Cuando un enunciado no puede ser directamente comparado con los datos empíricos, entonces se trata de una proposición compleja o "molecular" (como la llamó Russell) (3,7,8). En tal caso se procedía a analizar el enunciado por métodos lógicos (de ahí que también se le conozca al neopositivismo como "filosofía analítica"), hasta descomponerlo en sus proposiciones elementales capaces de ser contrastadas con los datos de la experiencia, o bien, con las "proposiciones protocolarias". De este modo se determinaba si la expresión original tenía o no sentido. (9) Es notorio el carácter sumamente subjetivista de estas tesis, pues el criterio de verificación se basa en la experiencia inmediata del sujeto que conoce.

La consecuencia ineludible de las concepciones neopositivistas fue el solipismo lingüístico, perfectamente expresado por Wittgenstein cuando asienta, en uno de sus aforismos: "Los límites de mi lenguaje significan los límites de mi mundo" (*) y en otro declara: "Veamos aquí como el solipismo llevado estrictamente coincide con el puro realismo" (ibid).

Estas tremendas conclusiones a las que se llegaba, socavaron los propósitos del "Círculo de Viena" y su escuela filosófica. El intento neopositivista de constituir una filosofía única, universalmente aceptada, por medio de la eliminación de los enunciados carentes de sentido o de los problemas falsos, se vino abajo y en su seno surgieron pronto las polémicas y las contradicciones. Aquella -

(8) L. Kolakowski (1972), Positivist Philosophy. From Hume to the Vienne Circle, Ed. Penguin books, Harmondsworth, pp. 203-240.

(9) M. Schlick (1974), General Theory of Knowledge, Ed. Springer-Verlag, Viena, pp. 162-170. Traducción al inglés del original en alemán (1925).

(*) L. Wittgenstein, op. y ed. cit. (7), 5.6. El subrayado es original.

situación obligó a los miembros y simpatizantes del "Círculo de Viena" a una revisión de sus postulados centrales. Uno de los primeros en llevar a cabo dicha revisión es Karl R. Popper (1934), quien substituyó el principio de verificación por el de falsabilidad o criterio de demarcación, capaz de distinguir las proposiciones científicas de las no-científicas. A juicio de Popper, es arbitrario afirmar que un enunciado es científico porque es verificable; por el contrario, su carácter científico deriva precisamente de la posibilidad de que sea refutado, "No en vano llamamos "leyes" a las leyes de la naturaleza: cuanto más prohíben más dicen" (10). De este modo se establece un método crítico de selección de teorías o postulados de acuerdo con un criterio negativo, más que positivo.

Aunque más tarde Popper abjuró del neopositivismo, como lo hicieron otros (Bertrand Russell por ejemplo), muy poca cosa lo aleja de él, pues sigue fiel al empirismo de corte positivista (*); por ejemplo, niega la inducción como procedimiento científico y también la causalidad. En un reciente escrito declara sin ambages: "debemos considerar a todas las leyes y teorías (científicas) como conjeturas o hipótesis" (11). Verdaderamente, su filosofía es demasiado escéptica y muy parecida a la de Russell. (12,13).

La revisión de Popper (y otros) de los postulados originales del neopositivismo introdujeron en éste una marcada tendencia hacia el probabilismo; un ejemplo concreto de esto fue el pensamiento de Hans Reichenbach, destacado neopositivista que en su última obra (1951), declaró, entre otras cosas; "(...) la afirmación de que existe un mundo físico objetivo puede sólo considerarse como altamente pro-

(10) K.R. Popper (1952), La Lógica de la Investigación Científica. Ed. Tecnos, Madrid pp. 27-47.

(*) Popper se declara partidario del realismo, que no es otra cosa que una modalidad del positivismo moderno, al cual también perteneció Bertrand Russell (hoy también se le llama neorealismo).

(11) K.R. Popper (1972), Objective Knowledge, Ed. Oxford University Press, Oxford, p. 9.

(12) B. Russell (1970), Los Problemas de la Filosofía, Ed. Labor, Barcelona.

(13) B. Russell (1971), La Perspectiva Científica, Ed. Ariel, Barcelona.

bable, no como absolutamente cierta. Tenemos buena evidencia inductiva de la existencia de un mundo físico, pero eso es todo lo que podemos decir" (14)(14). Como habrá podido advertirse, la idea central de Reichenbach no difiere substancialmente de la expresada por Popper, como tampoco con aquella de Bertrand Russell: "Todavía convengo en que 'conocimiento' no es un concepto preciso, sino que se funda en una 'opinión probable'" (15).

3.2. DEL IDEALISMO FILOSOFICO AL IDEALISMO FISICO.

Ha sido una de las pretensiones mas importantes del positivismo, en todas sus modalidades, la de ser una "tercera filosofia", una filosofia neutra o intermedia, superando de ese modo la añeja controversia materialismo-idealismo. Por tanto, no resulta extraño que Bertrand Russell haya creado en la década del veinte lo que él llamó monismo neutral; "(...) la costumbre de distinguir entre espíritu y materia -decía Russell- es una equivocación (...) la realidad puede ser atribuida a ambos o a ninguno, con igual justicia" (*). En otra obra suya indica Russell: "El punto de vista que he sugerido estriba en que tanto la mente como la materia son formas compuestas de más primitivos materiales que no son ni mentales ni materiales" (16). Ideas similares se hallan en la obra de Reichenbach ya referida.

Surge entonces la pregunta. ¿Es el positivismo, con todas sus variantes, una filosofia intermedia que supera tanto al idealismo como al materialismo? La respuesta evidentemente es no. Está claro que el pensamiento de Berkeley y de Hume es idealista y, por ende, también el de sus seguidores: los positivistas.

No obstante, es innegable el influjo que tuvo el empirismo positivista en -

-
- (14) H. Reichenbach (1973), La Filosofía Científica, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, p. 275.
- (15) B. Russell (1976), La Evolución de mi pensamiento Filosófico, Ed. Alianza Editorial, Madrid, p. 105.
- (*) op. y ed. cit. (13), p. 45.
- (16) B. Russell (1972), Fundamentos de Filosofía, Ed. Plaza & Janes, Barcelona, p. 617.

las ciencias de la naturaleza desde mediados del siglo XIX. Basta recordar los argumentos anti-darwinistas que provenían tanto de los partidarios del vitalismo como de los mecanicistas.

En su época, Engels denunció la inconsecuencia de aquellos científicos que se dejaban arrastrar por las jerigonzas positivistas, diciendo:

"¿Qué pensaríamos del zoólogo que dijera: "el perro parece tener cuatro patas, pero no sabemos si en realidad tiene cuatro millones de patas o no tiene ninguna? - ¿o del matemático que empezara definiendo al triángulo como formado por tres lados, para decir a renglón seguido que no sabe si tiene tres o veinticinco? ¿o que dijera que 2×2 parecen ser 4. Pero los naturalistas se guardan mucho de aplicar en sus ciencias la frase de la cosa en sí, y sólo se permiten hacerlo cuando se lanzan por los campos de la filosofía. Lo cual es la mejor prueba de cuán poco en serio lo toman y de cuán poco valor tiene esta frase en sí misma. En efecto, si la tomaran en serio ¿para qué pararse a investigar nada?" (17). En otra parte de su obra, Engels critica a los científicos idealistas: "Para quien niegue la causalidad toda ley natural será simplemente una hipótesis, entre otras también el análisis químico de los cuerpos celestes por medio del espectro prismático ¡Qué superficialidad de pensamiento quedarse parado ahí!" (*)

La ciencia que se vio más afectada por estas doctrinas fue la física. En primer término, porque tiene un carácter eminentemente experimental y matemático, ¿qué ciencia se podría avenir mejor a los dogmas de la ideología positivista? No es casual, por cierto, que Comte al crear la sociología la llamara "física social" y que considerara a todas y cada una de las ciencias como partes de la física.

(17) F. Engels (1961), Dialéctica de la Naturaleza, Ed. Grijalbo, México, p. 205. El subrayado es original. Nota.- La "cosa en sí" a la que se refiere Engels, es el objeto que existe independientemente de cualquier sujeto que pueda percibirlo o conocerlo. Los idealistas, como los que profesan alguna forma de positivismo, niegan la posibilidad de conocer la "cosa en sí", o los objetos, y dudan de su existencia.

(*) op.cit. (17), p. 197

Asimismo, no resulta extraño el que los positivistas conciban al método de la física como el método de toda la ciencia.

Se trata, entonces, de una verdadera consagración de la física por parte de quienes profesan el positivismo. Lo que esta ciencia no pueda plantearse o resolver es irresoluble. De este modo se tergiversa la ciencia y se deforma mentalmente a quienes se dedican a ella.

Lo antedicho acarrea que todas las ciencias de la naturaleza se remitan, en última instancia, a la ciencia de la física. Esta remisión se ha conocido, en las últimas décadas, como reduccionismo, el cual a menudo se confunde con el mecanicismo. Más adelante se verá que esto es equivocado.

De esta manera, el idealismo filosófico de Berkeley y Hume penetró en la física a través del positivismo comtiano y, sobre todo, con la filosofía de Mach y de la llamada "Escuela de Copenhague".

Durante las últimas décadas de la pasada centuria hubo una serie de descubrimientos físicos, de índole experimental, que socavaban aquel vetusto edificio de la física clásica. Los nuevos hechos reconocidos no podían ser explicados satisfactoriamente.

Ante aquella situación que se iba agravando, muchos físicos desconcertados se dejaron llevar por las ideas más pesimistas, adoptaron la filosofía idealista más retrógrada y declararon que la física estaba en crisis. Al comenzar nuestro siglo pululaban los escritos de científicos y filósofos sobre la "crisis de la física" y el "desastre" del pensamiento humano. Hombres de ciencia tan brillantes como Henri Poincaré, se vieron envueltos en la vorágine del pesimismo. Hubo otros quienes llegaron a proclamar la desaparición de la materia.

Pero esa situación no se debía a una crisis de la física o de la ciencia, era realmente, el estado de cosas provocado por interpretaciones erróneas a la luz del positivismo empiriocriticista de Avenarius y Mach, que entonces era la filosofía dominante.

Lenin, que se dio muy bien cuenta del trasfondo filosófico idealista de esas apreciaciones superficiales, criticó duramente aquellas ideas en su libro Materialismo y Empiriocriticismo (4). Entre los científicos destacados que atacaron aquellas concepciones figuró Max Planck, creador en 1900 de la Teoría Cuántica, la cual revolucionó a la física. Planck publicó un informe en 1908 (mismo año en el que Lenin editó su Libro), de carácter científico-filosófico, en el que refutaba de manera contundente la teoría empiriocriticista de Mach (*).

Después de la guerra del 14, el empiriocriticismo demasiado debilitado, entregó la estafeta positivista a los precursores del neopositivismo.

La aplicación de la teoría cuántica para dilucidar la estructura atómica a partir de los espectros de emisión del hidrógeno por parte de Niels Bohr en 1913, y la teoría de la relatividad enunciada por Einstein en 1905 y en 1915, constituyeron el marco de reflexión de los neopositivistas. Los problemas planteados por aquellas nuevas imágenes del mundo habían derribado al mecanicismo de la física, hecho que los neopositivistas interpretaron como el fin del materialismo.

A finales de los años veinte los problemas que planteaba la recién creada - mecánica cuántica alimentaban las especulaciones del "Círculo de Viena". Fue en este período que nació la llamada "Escuela de Copenhague", encabezada por Niels Bohr.

En 1927, Werner Heisenberg, miembro de esa escuela, enunció las llamadas relaciones de incertidumbre o de indeterminación, como un intento por superar las contradicciones surgidas de las dos interpretaciones previas distintas de los espectros de emisión que se habían dado. Según estas relaciones de indeterminación, no es posible determinar, simultáneamente, la posición y el momento angular - - - de un electrón en el átomo. Esto ponía de manifiesto la doble naturaleza del electrón: como partícula y como onda. Tal cosa era inconcebible para la mecánica clásica, sin embargo, lo único congruente con los hechos era el esquema teórico pro-

(*) Citado por M.A. Dynnik, op. y ed. cit, vol.5, pp. 446-448.

puesto por Heisenberg. Naturalmente, no era fácil aceptar aquello, todos los científicos quedaron desconcertados.

Estos resultados, que evidenciaban el carácter contradictorio intrínseco del átomo (el cual era descrito en términos matemáticos probabilísticos), junto con el hecho inevitable de que al estudiar los procesos íntimos del átomo se produce una perturbación en los mismos de magnitud equivalente, constituyeron un terreno fértil para las especulaciones neopositivistas. De este modo la mecánica cuántica fue la materia prima fundamental para la construcción del positivismo de nuevo cuño, a fines de la década del veinte y en la del treinta. El mismo Heisenberg fue de los primeros en hacer declaraciones que marcaban la pauta para las elucubraciones positivistas, en el artículo en el que propuso las relaciones de incertidumbre; entre otras cosas, decía: "puesto que todos los experimentos obedecen a las leyes cuánticas y, en consecuencia a las relaciones de indeterminación, queda definitivamente establecido, como consecuencia de la propia mecánica cuántica, lo incorrecto que resulta la ley de la causalidad, (...) es posible preguntar si hay un mundo 'verdadero' todavía oculto detrás del universo estadístico de la percepción en el cual la ley de la causalidad fuera válida. Pero tal especulación nos parece sin valor y carente de significado, pues la física debe restringirse a la descripción de las relaciones entre las percepciones" (18), que desde luego coincidían extraordinariamente con las ideas positivistas de los fundadores del "Círculo de Viena". Empero, en 1930 Heisenberg hizo declaraciones que se contraponían con las anteriores. La verdad es que el físico alemán se mostró vacilante sobre las interpretaciones neopositivistas de la mecánica cuántica y pese a que nunca formó parte del "Círculo de Viena" ni se afilió ex profeso al neopositivismo, ello no le protegió del influjo de una filosofía. En una conferencia pronunciada en 1964, nos dice: "Pienso que la física moderna ha fallado definitivamente a favor de Platón. Las unidades

(18) Citado por: M. Jammer (1974), The Philosophy of Quantum Mechanics, Ed. Wiley-Interscience, Nueva York, pp. 75-76.

más pequeñas de la materia no son, de hecho, objetos físicos en el sentido ordinario: son formas, ideas que pueden ser expresadas de manera inequívoca sólo en el lenguaje matemático" (19). En esa misma conferencia Heisenberg se declaró, abiertamente, "a favor del idealismo platónico y en contra del materialismo" - (ibid), o sea, dejó de ser idealista subjetivo (positivista) y se volvió idealista objetivo (platonismo).

Por otra parte, otro miembro de la Escuela de Copenhague, Pascual Jordan, que sí se afilió al positivismo contemporáneo, pregonó la liquidación del materialismo en base a los resultados de la mecánica cuántica. En un librito suyo publicado en 1938, asienta: "Las nuevas ideas derivadas de las experiencias de la física cuántica y de su elaboración intelectual significan una amplia liquidación de la imagen científica del mundo desarrollada por la ciencia de Occidente, la ciencia clásica de la naturaleza, a partir de la filosofía materialista de los griegos (...), la existencia de los átomos ya no es para nosotros un hecho fundamental y primario de la naturaleza sino, más bien, un aspecto especial de un fenómeno mucho más general y abarcador; a saber, el fenómeno de la discontinuidad cuántica(...). El átomo, tal como lo conocemos, no posee ya las propiedades palpables e intuitivas del átomo de Demócrito sino que está despojando de toda cualidad sensible y sólo se puede caracterizar mediante un sistema de fórmulas matemáticas (20). En otra parte de su libro, Jordan recalca lo anterior afirmando: "(...)cuando la teoría cuántica despoja al átomo de toda cualidad tangible y no nos deja como caracterización del mismo más que una armazón de fórmulas matemáticas, se corrobora una vez más nuestra posición gnoseológica según la cual no corresponde a la investigación física descu

(19) W. Heisenberg (1967), Ley Natural y Estructura de la Materia, Problemas Científicos y Filosóficos, UNAM, suplemento III-4, pp. 7-23. El subrayado es mío.

(20) P. Jordan (1963), La Física del Siglo XX. Ed. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 131-135.

brir el "ser verdadero" de las cosas radicado "más allá" del mundo de los fenóme- nos, sino construir sistemas mentales para dominar ese mundo de los fenómenos" - (ibid). Ya antes de esta declaración, nuestro referido autor nos revela su ten- dencia ideológica positivista. Estas ideas se articulaban perfectamente con las ideas escritas por el filósofo Bertrand Russell, en 1927, al indicar que "(...) la materia, en la ciencia moderna, ha perdido su solidez y substancialidad y se ha - convertido en un fantasma que ronda por los lugares, escenario de sus esplendores pasados" (16).

Como puede observarse, las tesis de Heisenberg, Jordan y otros, son esen- cialmente iguales y no muestran ningún carácter intermedio entre el materialismo y el idealismo, sino que pertenecen francamente a este último.

Respecto de la teoría de la relatividad se manifestaron ideas similares. Se la tomó como la liquidación de la mecánica newtoniana, la pérdida de la substan- cialidad y la temporalidad del mundo; así, por ejemplo, Bertrand Russell decía al respecto: "La substitución del espacio y el tiempo por el espacio-tiempo ha hecho de la categoría de substancia algo que tiene menor aplicación de lo que anterior- mente tuviera, puesto que la esencia de la substancia persistía sostenida por la - idea del tiempo, y actualmente no existe tiempo cósmico" (16).

Las interpretaciones erróneas de los físicos sobre la mecánica cuántica y la relatividad, a la luz del viejo positivismo, nutrían al nuevo. El "principio de observacionalidad" formulado por Heisenberg se articulaba a la tradición empirista de Berkeley y Hume. La descripción matemático probabilista (estadística) del átomo, fue tomada como confirmación del aforismo de Wittgenstein: "los límites de mi - lenguaje son los límites de mi mundo".

En consecuencia, los átomos en sí no existen, son ideas, son complejos de - fórmulas matemáticas; el tiempo y el espacio como lo conocíamos tampoco existen; el mundo que nos rodea el cual "parecía" ser material, tangible, es sólo una vácua ilusión. ¿Adónde nos conduce este pensamiento? ¿En esto acorde con la ciencia? -

¿ Puede ser posible el conocimiento?

Ya en 1908 Lenin denunciaba que: "los avances de las ciencias naturales, la aproximación a elementos homogéneos y simples de la materia cuyas leyes de movimiento son susceptibles de una expresión matemática, hacen olvidar la materia a los matemáticos" (18, p.344).

Los excesos del neopositivismo en los años treinta merecieron una réplica de Max Planck, en términos agresivos, en su libro Adónde va la Ciencia (21). - Otros científicos que se opusieron al neopositivismo fueron Einstein y Max Born(*).

Las enormes contradicciones a que se enfrentaba el neopositivismo con la ciencia en el segundo tercio de este siglo, motivaron la suavización de ésta, pero sin que perdiera sus rasgos más característicos.

4. DEL IDEALISMO FÍSICO AL IDEALISMO BIOLÓGICO.

Como pudo leerse en párrafos anteriores (III, 3.1.), una de las aspiraciones más grandes de los positivistas ha sido la unificación de la ciencia, que debe entenderse como la reducción de todas las ciencias particulares a la física. Acorde con este anhelo, los neopositivistas se propusieron la tarea de la reducción de la ciencia a una rama particular de la física que estaba de moda: la mecánica cuántica.

Por otro lado, es necesario señalar que el vitalismo contemporáneo pretende apoyarse en dos áreas de la física actual: la mecánica cuántica y la termodinámica. De lo cual se infiere que el idealismo biológico de nuestro tiempo se articula perfectamente con el positivismo de nuevo cuño con todas sus variantes, a través del idealismo físico. En lo que sigue me ocuparé precisamente de estos aspectos.

(21) M. Planck; (1961), Adónde va la Ciencia, Ed. Loubada, Bs.As.

(*) Véase: A. Einstein, M. y H. Born (1973), Correspondencia. Ed. Siglo XXI, México.

tos.

4.1. MECANICA CUANTICA Y VITALISMO.

Consecuentes con su afán reduccionista, los físicos afiliados o seducidos por el neopositivismo pronto se internaron en los problemas capitales de la Biología. Los primeros que irrumpieron en este campo científico fueron los miembros de la escuela de Copenhague encabezados por Niels Bohr. Actualmente el físico H. Elsasser es el más destacado representante de aquella escuela.

El medio que empleó Bohr para inmiscuirse en los problemas biológicos fue su "principio de complementariedad". Este "principio" fue el resultado de especulaciones sobre otro "principio"; a saber: el de indeterminación que, a su vez, ha**ba** emanado de una auténtica tergiversación de las relaciones de incertidumbre de Heisenberg (22).

El "principio de complementariedad" surgió del desconocimiento de una pléyade de físicos, impregnados hasta el tuétano con la ideología positivista, ante los nuevos descubrimientos de la recién nacida mecánica cuántica. Dicho "principio" no tiene nada de común con las relaciones de indeterminación pese a que pretende apoyarse en ellas. Estas relaciones reflejaban el hecho de la doble naturaleza de las partículas subatómicas (supra, III, 3.2.). Ello provocó que Heisenberg se preguntara desconcertado: "¿Puede ser la naturaleza realmente tan absurda como nos ha parecido en los experimentos con los átomos?" (23). La respuesta que la escuela de Copenhague dio a esta interrogante fue tácitamente afirmativa.

Tratando de superar aquella situación fabricada por los propios físicos - obnubilados por la tradición positivista, Bohr introdujo su famoso "principio de complementariedad" (1927); sin embargo, Bohr nunca dio una definición clara de su

(22) E. de Gortari (1964), Dialéctica de la Física, Ed. UNAM, Colec. Probl. Cientif. y Fil., México, p. 204.

(23) W. Heisenberg; (1962), Physics and Philosophy, Ed. Harper Torchbooks, Nueva York. p. 42.

"principio" y de ese modo, se dieron muchas interpretaciones por los mismos que lo profesaron más tarde (*) ¡Pocos conceptos tan terriblemente oscuros y endebles - han seducido a tantos científicos! Inicialmente, Bohr concibió su aludido "principio" con el fin de armonizar la experiencia obtenida hasta ese momento con los conceptos clásicos; "es decisivo -señalaba Bohr- reconocer que, por más que los fenómenos rebasen el alcance de la interpretación física clásica, la descripción de todo conocimiento ha de expresarse en términos clásicos" (24). Según el físico danés este método evitaba las ambigüedades en la descripción de los fenómenos atómicos, pero ¿es lícito emplear los conceptos de la física clásica que reflejan un nivel de la existencia (el mesocosmos) (**) con sus leyes newtonianas, para describir un microcosmos en el cual -según muestran todas las evidencias- rigen otras leyes? Definitivamente no. En todo caso esto podría aceptarse tentativamente mientras no se encuentre otra alternativa mejor que corresponda a las exigencias de los nuevos hechos descubiertos y no como lo hicieron los miembros de la escuela de Copenhague, que tomaron como absolutas y definitivas sus apreciaciones. Por este motivo se conoce como "ortodoxa" a esa escuela de la mecánica cuántica (22). Por consi-

(*) Una discusión y análisis completo sobre la complementariedad puede encontrarse en: M. Jammer, op. y ed. cit. (18) p.86-107, y, en: C.F. von Weizsäcker, (1955), Complementariedad y Lógica, en: C.F. von Weizsäcker (1974), La Imagen Física - del Mundo, Ed. Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid, pp. 285-339 (aparecida originalmente en: Die Naturwissenschaften (1955), 42, 521. Un análisis crítico se puede encontrar en las siguientes obras: E. de Gortari, op. y ed. cit. (22) - pp.16-27, 35-45, 81-85 y 203-211; M.E. Omelianovsky (1960), Problemas Filosóficos de la Mecánica Cuántica, Ed. UNAM, Colec. Probl. Cientif. y Fil., México p.40-80., y en: D. Bohm (1959), Causalidad y Azar en la Física Moderna, Ed. UNAM, Colec. - Probl. Cientif. y Fil., México, p.139.

(24) N. Bohr (1949), Discusión con Einstein sobre Problemas Epistemológicos de la Física Atómica, en: N. Bohr (1964), Física Atómica y Conocimiento Humano, Ed. Aguilar, Madrid, pp. 40-82.

(**) Para mayor precisión empleo aquí los términos: microcosmos, que comprende los niveles subatómicos, atómicos y moleculares, básicamente; mesocosmos, que se refiere al nivel de las dimensiones semejantes a las del hombre; y macrocosmos, el relativo a las grandes masas y energías, propias de la astronomía y la cosmología. A esos tres grandes niveles corresponden, más o menos, la física o mecánica cuántica, la física clásica o newtoniana y la física relativista o einsteiniana, respectivamente.

guiente, los complementaristas yuxtaponen conceptos o términos que engendran un contexto contradictorio desde su base y que se acepta de común acuerdo porque - así lo imponen los experimentos, más nada nos dicen de la realidad que subyace en los fenómenos detectados.

Pero Bohr no se conformó con circunscribir la jurisdicción de su teoría - complementarista a la mecánica cuántica, y pronto la extendió a otros territorios, primero a la biología, luego a la psicología y a las ciencias sociales (25,26), a la vez que sus discípulos la convirtieron en una panacea explicativa universal. - Por lo tanto, términos tan contradictorios como ciencia y religión no se contraponen, sino que se complementan para el estudio del pensamiento humano; el mecanicismo y el vitalismo que aparentemente se oponen, en realidad -a juicio de los complementaristas- se complementan y son necesarios para un estudio cabal de la vida. En consecuencia, en aras de la complementariedad todos los conceptos se pueden conciliar! La contradicción no exista, es pura apariencia, es un puro convencionalismo.

Esta postura, como aparece aquí, es la clásica en la filosofía positivista. al presentarse como neutral respecto a la contradicción materialismo-idealismo.

Respecto a los problemas biológicos relevantes a la luz de la mecánica cuántica, Bohr señaló en una conferencia: "(...) resulta que en todo experimento sobre organismo vivos quedará forzosamente una incertidumbre en cuanto a las condiciones físicas a las cuales se encuentren sujetos, y ello sugiere que la mínima libertad que hemos de dejar al organismo bastará para permitirle, por decirlo así, ocultar nos sus íntimos secretos" (25). O sea que en virtud del indeterminismo cuántico, no es posible estudiar los procesos vitales íntimamente y así, siempre nos ocultará la vida sus secretos. En otra parte de su exposición, Bohr indicaba que "la verdadera esencia de la explicación científica estriba en reducir los fenómenos comple

(25) N. Bohr (1932), Luz y Vida, en: N. Bohr (1964), op. y ed. cit. (25), pp. 5-16
El subrayado es mío.

(26) N. Bohr (1938), Física y Culturas Humanas, en: N. Bohr, op. y ed. cit. (25)
pp. 29-39.

jos a otros más sencillos" (ibid). En P.Jordan, discípulo de Bohr, encontramos ideas semejantes a las anteriores cuando declara: "(...), si resulta justificada la conjetura de que las reacciones directoras del organismo ofrecen la finura de los procesos atómicos, en ese caso nuestro saber actual nos autoriza a pensar que el organismo es algo muy diferente de una máquina y que sus reacciones vivas contienen un elemento de incalculabilidad e imprevisibilidad fundamentales"(20,p.138) (*)

Igual que su maestro, Jordan estima que no es posible definir los estados internos del organismo vivo con los patrones atómicos, pues en este campo la observación se toparía con límites más estrechos que los impuestos por la física atómica dada la complejidad de la estructura orgánica (ver. pp.138-139, op.cit). Por consiguiente, la conclusión de Jordan no puede ser más pesimista y agnóstica: "lo característico de lo vivo radica, precisamente, en su capacidad de sustraerse a la constatación objetiva de sus estados internos" (ibid).(*). En virtud de tan tremenda limitación impuesta por la complejidad de lo vivo, Bohr declaraba:"(...) la existencia de la vida ha de considerarse en Biología como un hecho elemental, lo mismo que en física atómica la existencia del cuanto de acción ha de aceptarse como un hecho básico que no puede deducirse de la mecánica clásica"(25) (*). Veinticinco años después en otra plática suya, al aplicar consecuentemente su doctrina de la complementariedad, concilia así el mecanicismo y el finalismo: "(...) las actitudes mecanicistas y finalistas no representan puntos de vista contradictorios sobre los problemas biológicos, sino que más bien destacan la existencia de dos tipos de condiciones de observación que se excluyen mutuamente y que son igualmente indispensables en nuestra búsqueda de una descripción cada vez más completa de la vida" (27) (*).

No obstante esas limitaciones de orden metodológico, Jordan se atrevió a crear una Biología Cuántica (**) acomodando la mecánica cuántica a los fenómenos biológicos,

(27) N. Bohr (1957), La Física y el Problema de la Vida, en: N. Bohr, op.cit. (25) pp. 116-126.

(*) El subrayado es mío.

(**) Esto sucedió a fines de los años treinta.

mediante su teoría de los "amplificadores cuánticos en los organismos" (28). A través de dicha teoría, Jordan intentaba hacer válidos los principios del microcosmos en el mesocosmos, lo cual fue criticado y denunciado hasta por algunos biólogos positivistas (29).

En la actualidad el enfoque complementarista de los problemas biológicos - está encabezado por Walter M. Elsasser (también físico), quien ha intentado enriquecer la teoría original mediante la inclusión de elementos extraídos de la mecánica estadística, la teoría de la información y la cibernética, principalmente, con lo cual pretende superar las limitaciones que tenía el viejo esquema de Bohr. (30), pero muy a pesar suyo, no lo consigue porque, precisamente, no se sale de ese esquema reduccionista, al cual maquilla con un formalismo lógico-matemático abigarrado, cuyo objetivo es, según palabras del autor, "el progreso de la molécula al estado viviente". El resultado es, por ende, el mismo que en el caso de Bohr y Jordan: cae en el vitalismo, lo cual ha motivado las críticas más incisivas de diversos autores contemporáneos (31,32,33).

Así pues, abrumados los complementaristas por las contradicciones engendradas por su método reduccionista mecánico-cuántico, no les ha quedado otra salida que aceptar tácitamente el vitalismo, aunque disfrazado con una fraseología científica

- (28) P. Jordan (1959), La Physique et le Secret de la Vie Organique, Ed. Albin Michel, Paris, pp. 101-155.
- (29) F. Malnx (1957), Fundamentos de la Biología. Ed. UNAM. colec. Probl. Científ. y Fil., México, pp. 88-94.
- (30) W.M. Elsasser (1969), Átomo y Organismo, Nuevo Enfoque de la Biología Teórica, Ed. Siglo XXI, México, p. 17. Véase también: W.M. Elsasser (1967), The Transition from Theoretical Physics into Theoretical Biology, en: A.D. Brack y W. - Yourgrau eds. (1972), Biology, History and Natural Philosophy, Ed. Plenum Press, Nueva York, pp. 135-163; y: W.M. Elsasser (1970), The Role of Individuality in Biological Theory, en: C.H. Waddington, ed. (1970), Towards a Theoretical Biology, Ed. Aldine Publs., Edimburgo, pp. 137-166.
- (31) F.C. Crick (1970), Of Molecules and Men, Ed. University of Washington Press, Washington, pp. 3-28.
- (32) J.H. Morowitz (1968), Energy flow in Biology, Ed. Academic Press, Nueva York, pp. 124-146.
- (33) D. Hull (1974), Philosophy of Biological Science, Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., pp. 135-139.

ficista.

Para finalizar, debe señalarse que una característica básica del vitalismo en todas sus manifestaciones es la de ser agnóstico, lo cual hace que la ciencia esté negada de antemano a explicar la vida. A lo más a que se puede aspirar, de acuerdo con esta doctrina, es a describir los fenómenos vitales. Esto desde luego, concuerda con el pensamiento positivista: Bohr avaló lo anterior cuando estableció que los biólogos debían aceptar a la vida "como un hecho elemental", y de este modo se eludía por completo cualquier explicación de ella.

Otro rasgo particular del vitalismo, es que atribuye a los fenómenos biológicos una tendencia hacia metas o fines imposibles de comprender, pues están fuera del alcance de la ciencia; esta posición es conocida como finalismo. Vimos como, precisamente Bohr y Jordan, aceptaban abiertamente esas tesis finalistas a través de una conciliación complementarista. En el caso de Elsasser se presenta también una "solución", que pretendidamente supera al vitalismo y al mecanicismo. Todo esto se ha querido apoyar en la mecánica cuántica, especialmente en las relaciones de incertidumbre de Heisenberg, adulteradas como "principio de incertidumbre".

4.2. ENTROPISMO Y VITALISMO

Creo que ningún otro hallazgo de la física ha tenido tantas repercusiones en la biología como el descubrimiento de la segunda ley de la termodinámica. Efectivamente, desde que Rudolf Clausius (1822-1883) y William Thomson (Lord Kelvin) (1824-1907), en forma independiente, establecieron la función de estado que denominaron entropía, se ha venido utilizando de una forma u otra a dicha función para fundamentar las tesis vitalistas más diversas. Las discusiones en torno a una supuesta violación de la segunda ley de la termodinámica por los sistemas vivos, ha llenado muchas páginas de la historia contemporánea de la biología y ha tenido gran influjo en algunas ideas sobre el origen de la vida.

Mientras la primera ley de la termodinámica establece la mutua transmisión de una forma de energía en otra, gracias a lo cual la energía no puede crearse ni destruirse, la segunda ley presenta aspectos cualitativos de la transferencia de la energía; así, por ejemplo, señala que el calor no puede transformarse totalmente en trabajo y en cambio éste sí puede transformarse en aquel de manera total. Esta restricción, por supuesto, no contradice lo establecido por la primera ley. La función de estado que determina esa restricción es la entropía, ya mencionada antes, cuya expresión clásica es:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T} \quad (1)$$

donde: ΔS = cambio en el valor de la entropía en un proceso isotérmico, ΔQ = cambio en la cantidad de calor, y T = temperatura absoluta (en °K), durante el proceso.

Ahora bien, la entropía generalmente se define como la medida del desorden molecular de un sistema termodinámico cualquiera. También es frecuente considerar a la entropía como el grado de equilibrio termodinámico alcanzado por un sistema.

Por otro lado, si se considera que toda forma de energía (incluyendo el trabajo), es fácil y totalmente transformable en calor, y éste no es capaz de transformarse del todo en trabajo, entonces el calor es una forma degradada de la energía, o bien, desordenada; tal como se expresa en la ecuación siguiente:

$$\Delta Q = T \Delta S \quad (2)$$

Como se sabe, la temperatura es el valor total de la energía cinética de las moléculas de un sistema, por tanto, el calor es el resultado de la multiplicación de dicha energía cinética por el grado de desorden del mismo sistema.

En consecuencia, cuando más alto sea el valor de la entropía, la cantidad de trabajo producida será menor, o, dicho en otros términos, cuando hay más desorden en un sistema la cantidad de trabajo obtenida es menor (lo que se infiere, a su vez, que a mayor orden en un sistema mayor producción de trabajo. La porción -

de energía que se transforma en trabajo recibe el nombre de energía libre, que relacionada con la entropía, se puede escribir:

$$\Delta G = \Delta H - T \Delta S \quad (3)$$

donde: ΔG = cambio en el valor de la energía libre, ΔH = cambio en el valor de la entalpía (= contenido calorífico).

Finalmente, hay otra expresión de la entropía basada en la teoría de las probabilidades y que se relaciona con la teoría cinética de los gases. Tal es la expresión estadística de Planck:

$$S = k \cdot \ln P$$

donde: S = la entropía de un sistema, k = constante de Boltzman, que se obtiene relacionando la constante de los gases (R) con el número de Avogadro (N), ($k = 1.38 \times 10^{-16}$ en unidades C.G.S.), P = número de estados probables del sistema.

Por esta razón, también se considera a la entropía como el estado más probable al que tienden los sistemas físicos en general; por lo tanto, la disminución espontánea de la entropía es altamente improbable.

Todo proceso espontáneo se lleva a cabo mediante un flujo de energía, que es en un sólo sentido; para esto es necesaria una diferencia en los factores intensivos: por ejemplo, diferencia de temperaturas $T_2 > T_1$, entre dos sistemas A_2 y A_1 . Entonces el calor fluye del sistema A_2 a la temperatura T_2 , al sistema A_1 a la temperatura T_1 . Esto quiere decir que el calor fluye exclusivamente del cuerpo más caliente al cuerpo más frío y nunca al revés. Cuando las temperaturas se igualan ($T_2 = T_1$), el flujo de energía cesa y se alcanza el equilibrio termodinámico (o térmico, en este caso), y el valor de la entropía es máximo.

Se puede decir que el sistema a la temperatura más alta es una fuente de energía libre y el sistema a temperatura inferior es un absorbente de energía.

La tendencia al aumento de la entropía total, toma expresión frecuente en

el enunciado de la segunda ley de la termodinámica: "en un sistema aislado (*) la entropía siempre aumenta", o bien: "la entropía de un sistema cerrado y la de su entorno siempre tiende a aumentar".

Estos hechos fueron muy pronto interpretados de manera equivocada, generalizándolos de manera irresponsable a todo el universo. El primero en llevar a cabo esa extrapolación fue William Thomson (Lord Kelvin). Pensaba que en el mundo - que nos rodea predominan procesos que tienden al equilibrio térmico, y por consiguiente estos procesos deben predominar en todo el universo (32). A conclusiones semejantes llegó Clausius. Fue así como nació la llamada teoría de "la muerte térmica" del universo. Esta teoría tuvo sus más inmediatas repercusiones en la biología.

A tono con la susodicha "muerte térmica", el universo marcha hacia el incremento de la entropía, entonces va hacia el desorden, la desorganización, el caos, a donde ya no es posible la transformación de la energía en trabajo o cualquier otra manifestación de la energía diferente al calor; es decir, el fin del universo entero será la cesación de todo cambio. Pero dejemos que este cuadro apocalíptico sea pintado por el físico norteamericano Lincoln Barnett: "(...) el universo avanza hacia un 'fin del calor' o, como se define técnicamente, hacia una condición de entropía máxima. Cuando el universo alcance este estado, unos miles de millones de años después de nuestro tiempo cesarán todos los procesos de la naturaleza. Todo el espacio estará a la misma temperatura. No podrá usarse la energía, porque se encontrará uniformemente distribuida por el cosmos. No habrá luz, ni vida ni calor; nada sino perpetuo e irrevocable estancamiento. El propio tiempo llegará a su fin, porque la entropía apunta a la dirección del tiempo. Entropía - es la medida del azar. Cuando todos los sistemas y órdenes del universo hayan des-

(*) Un sistema aislado es aquel que no intercambia calor u otra forma de energía con el medio; un sistema cerrado es el que puede intercambiar energía con el medio y, un sistema abierto aquel que intercambia substancias y energía con su entorno.

(32) I.N. Zúñiev (1966), La "Muerte Térmica" del Universo, Ed. Pueblos Unidos, - Montevideo, p. 39

el enunciado de la segunda ley de la termodinámica: "en un sistema aislado (*) la entropía siempre aumenta", o bien: "la entropía de un sistema cerrado y la de su entorno siempre tiende a aumentar".

Estos hechos fueron muy pronto interpretados de manera equivocada, generalizándolos de manera irresponsable a todo el universo. El primero en llevar a cabo esa extrapolación fue William Thomson (Lord Kelvin). Pensaba que en el mundo que nos rodea predominan procesos que tienden al equilibrio térmico, y por consiguiente estos procesos deben predominar en todo el universo (32). A conclusiones semejantes llegó Clausius. Fue así como nació la llamada teoría de "la muerte térmica" del universo. Esta teoría tuvo sus más inmediatas repercusiones en la biología.

A tono con la susodicha "muerte térmica", el universo marcha hacia el incremento de la entropía, entonces va hacia el desorden, la desorganización, el caos, a donde ya no es posible la transformación de la energía en trabajo o cualquier otra manifestación de la energía diferente al calor; es decir, el fin del universo entero será la cesación de todo cambio. Pero dejemos que este cuadro apocalíptico sea pintado por el físico norteamericano Lincoln Barnett: "(...) el universo avanza hacia un 'fin del calor' o, como se define técnicamente, hacia una condición de entropía máxima. Cuando el universo alcance este estado, unos miles de millones de años después de nuestro tiempo cesarán todos los procesos de la naturaleza. Todo el espacio estará a la misma temperatura. No podrá usarse la energía, porque se encontrará uniformemente distribuida por el cosmos. No habrá luz, ni vida ni calor; nada sino perpetuo e irrevocable estancamiento. El propio tiempo llegará a su fin, porque la entropía apunta a la dirección del tiempo. Entropía es la medida del azar. Cuando todos los sistemas y órdenes del universo hayan des-

(*) Un sistema aislado es aquel que no intercambia calor u otra forma de energía con el medio; un sistema cerrado es el que puede intercambiar energía con el medio y, un sistema abierto aquel que intercambia substancias y energía con su entorno.

(32) I.N. Zmiev (1966), La "Muerte Térmica" del Universo, Ed. Pueblos Unidos, - Montevideo, p. 39

aparecido, cuando la cualidad de fortuito llegue a su máximo, y la entropía no pueda ser incrementada, cuando ya no haya ninguna sucesión de causa y efecto, en pocas palabras, cuando el universo se haya acabado, no habrá dirección para el tiempo -no habrá tiempo. No hay forma de evitar este destino. El fatal principio conocido como la segunda ley de la termodinámica, virtualmente el único pilar de la física clásica que ha sido dejando intacto por la marcha de la ciencia, proclama que los procesos fundamentales de la naturaleza son irreversibles" (33). Hay que apuntar que estas ideas estuvieron muy en boga en el primer tercio de este siglo y han vuelto a ser un foco de atracción en nuestros días; se han constituido en una verdadera ideología en base a la "muerte térmica", misma que yo llamaría entropismo.

Los entropistas se distinguen, muy especialmente, por su devoción por el azar, lo cual se engarza, ad hoc con el indeterminismo cuántico que se estudió en la sección anterior.

Las primeras preguntas surgidas después de la enunciación de la "muerte térmica", fueron las siguientes: ¿si el universo avanza irremediamente al caos, a la desorganización total, cómo explicar la existencia de la vida que avanza en dirección contraria, es decir, incrementando su organización, su orden interno? ¿Cómo pudo originarse la vida en el seno de un universo cada vez más azaroso? ¿violaban los seres vivos la segunda ley de la termodinámica? ¿se puede asegurar, entonces, que en su origen el universo estaba absolutamente ordenado?

Los biólogos y los filósofos vitalistas veían en la "muerte térmica" la mejor ocasión para avalar sus doctrinas. Por ejemplo, el filósofo francés Henri Bergson (1859-1941), afirmaba que "todas nuestras análisis nos muestran en la vida un esfuerzo por subir la pendiente que la materia descende" (34). Según Bergson, la

(33) L. Barnett (1973), El Universo y el Dr. Einstein, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, p. 90. El subrayado es mío.

(34) H. Bergson (1973), La Evolución Creadora, Ed. Espasa-Calpe, Colec. Austral, Madrid.

vida puede subir esa pendiente (que no es otra cosa que el incremento de entropía), gracias a un impulso interno, un impulso vital (elán vital), creativo, que lucha contra el torrente de la materia que trata de destruir la vida. En consecuencia, el impulso vital es inmaterial.

Diversos científicos y filósofos materialistas se opusieron, desde luego, a aquellas generalizaciones pseudocientíficas de la segunda ley de la termodinámica. Uno de ellos fue Ernest Haeckel y otro fue Ludwig Boltzmann (1844-1906), quien con el fin de refutar la doctrina de la "muerte térmica", planteó su teoría de las fluctuaciones (32), basado en su concepción estadística de la entropía. No obstante, no pudo desbaratar la doctrina de los entropistas.

Con la crisis económica capitalista mundial de las décadas del veinte y del treinta, la mentada teoría entropista alcanzó un auge enorme.

Por lo que toca a los mecanicistas, ellos coincidieron en general y aceptaron la teoría aludida, pues tenía cabida en su enfoque casualista o azaroso del mundo, aunque no veían, como los vitalistas, que esa ideas se contraponía con la existencia de la vida. En este sentido cabe citar el caso referido por Zméiev (op. cit. 32), de un filósofo inglés de apellido Johnston, que en 1932 publicó un trabajo en el cual estableció que la vida apareció sobre nuestro planeta a consecuencia de una combinación casual de átomos (que a la luz de la segunda ley es sumamente improbable), pero, para no desviarse de la teoría entropista, Johnston consideró que los primeros organismos, aparecidos por azar, ¡fueron los más complejos y de estos se derivaron los más simples en forma paralela a como se degrada la energía en virtud de la ley del incremento de la entropía! (op. cit. (32), pp. 93-94.).

Esta concepción nos ilustra cuán decadente y contradictorio se hallaba el mecanicismo en la primera mitad de este siglo.

Desde la centuria pasada, los idealistas más consecuentes han tenido a la teoría de la "muerte térmica" como su arma más poderosa para defender las ideas reaccionarias. Asimismo, ha sido un pilar del irracionalismo en todas sus manifestaciones (infra, III, 5).

4.2a. LAS IDEAS DE SCHRÖDINGER.

Con el fin de superar la paradoja vida-entropía, que se había gestado como consecuencia de la generalización de la segunda ley de la termodinámica, uno de los fundadores de la mecánica cuántica, Erwin Schrödinger, escribió un librito titulado ¿Qué es la Vida? (publicado en 1944), obra que ha tenido desde entonces una gran influencia en el pensamiento biológico contemporáneo, especialmente en el campo de la biología molecular. El libro, en realidad, constituye un esfuerzo para fundamentar físicamente los fenómenos biológicos.

Schrödinger considera que la herencia es el rasgo característico de la vida y por ello estima que la fibra cromosómica o simplemente el cromosoma, al cual define como un "cristal aperiódico", es el portador de la vida, idea que tomó, seguramente, de la escuela morganista que se hallaba muy en boga entonces. A criterio de Schrödinger, todas las cualidades distintivas de la vida radican en los genes. Lo que más motivó la atención del autor, fue la extraordinaria estabilidad física de la fibra cromosómica respecto de la tendencia natural a la degradación, en virtud del segundo principio de la termodinámica. Estimó, en consecuencia, que los sistemas vivos se diferencian de los sistemas inertes por su capacidad para remover el desorden molecular, es decir, la entropía. ¿Cómo explicar esa capacidad de los seres vivos para disminuir su entropía? Schrödinger responde a la interrogante recurriendo a su concepto de entropía negativa o anentropía (*). Así pues, el organismo vivo se preserva de la degradación tomando anentropía del exterior, o sea, extrayendo "orden" del exterior en forma de nutrientes (35). De este modo, -

(*) Frecuentemente se utiliza el término híbrido negaentropía, que es incorrecto. Aquí emplearé el de anentropía.

(35) E. Schrödinger (1967) What is Life?, Ed. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 3-19 y 72-91

la vida se aleja del equilibrio termodinámico o de máxima entropía. "Así un organismo (escribe Schrödinger) continuamente incrementa su entropía -o sea produce entropía positiva- y de este modo tiende a aproximarse al peligroso estado de máxima entropía, que es la muerte. Puede mantenerse solamente lejos de ella, es decir, vivo, por la extracción constante de entropía negativa de su medio ambiente" (34, p.76). Este autor explica que el "orden" o neguentropía de los alimentos proviene, en última instancia, de la energía luminosa del sol que es aprovechada por las plantas (mediante el proceso de fotosíntesis): ese "orden" es tomado, a su vez, por los animales.

Todos los razonamientos de Schrödinger gravitan alrededor de la neguentropía. Efectivamente, el físico austriaco juzga que lo realmente importante para la vida es el "orden" que puede adquirir del exterior, fuera de su sustrato material o energético, y así nos dice que "para un organismo adulto el contenido de energía es tan estacionario como el contenido material" (ibid).

En la literatura especializada se encuentran muy pocos análisis críticos de estas ideas de Schrödinger. Muchos científicos (biólogos, físicos y químicos), han tomado las tesis de ese autor como algo definitivo y que resuelve el dualismo entropía-vida. Empero, en verdad esas ideas no resuelven la paradoja (aparente, desde luego), pues quedan en el aire cuestiones tales como: ¿De dónde surgió esa capacidad de los seres vivos para anular neguentropía del exterior y evitar el aumento excesivo de entropía interior?, en pocas palabras: ¿Cómo pudo aparecer la vida?. Es obvio que el pensamiento de Schrödinger no resuelve esos problemas, pues trata de solucionar la contradicción abstrayendo a la vida de su dimensión temporal o histórica.

Por otro lado, introduce subrepticamente elementos idealistas que no es posible aceptar desde el punto de vista científico; así, cuando se refiere al "or-

den", a la anentropía, lo considera en abstracto, fuera del mundo material y objetivo; el "orden" por el "orden". La materia y la energía no son importantes, sólo lo es el "orden", la información.

Como se sabe, la anentropía u "orden" ha sido tomado como equivalente de información y también es común usarla como sinónimo de grado de organización o de estructura. Pues bien, no han faltado los científicos que como el fisiólogo J.L. Young, afirman: "la biología, al igual que la física, ha dejado de ser materialista. Su unidad básica es una unidad inmaterial, o sea, una organización" (36); o como el biólogo molecular André Lwoff, cuando declaró: "(...) no hay materia viva; una molécula orgánica extraída de un organismo no está viva; sólo los organismos - están vivos" (37).

Así, entonces, según Young la vida es inmaterial ya que es organización pura, y según Lwoff sólo las moléculas individuales son materiales pero no su conjunto, esto es lo mismo que decir: los hombres individuales son materiales pero no la sociedad (!). Esto es idealismo puro.

4.2b. EL ENTROPISMO Y LA "IMPROBABILIDAD" DE LA VIDA.

El entropismo, derivado de la extrapolación del segundo principio de la termodinámica, ha significado el abismo infranqueable que separa a la vida de la materia inerte para los vitalistas. En general, se puede decir que esta es la argumentación más nocorrida de los biólogos idealistas. Un ejemplo palpable de lo anterior es el pensamiento del paleontólogo español Crusafont-Pairó, cuando sostiene: "La vida es todo lo opuesto a la materia inerte. Y si comprendemos las leyes

(36) J.Z. Young (1960), Duda y Certeza en la Ciencia, Ed. UNAM, Colec. Probl. Científ. y Fil., México, p. 165. El subrayado es mío.

(37) A. Lwoff (1970), El Concepto de Información en la Biología Moderna, en M. Guérault et al., (1970), El Concepto de Información en la Ciencia Contemporánea, Ed. Siglo XXI, México, p. 135.

que rigen a la materia, en cuanto esta materia está abandonada a sí misma, no hallamos todavía la razón de existencia de los seres vivos (...); en su más calificada -significación la vida es una fórmula de negación del segundo principio de la termodinámica, gracias a su capacidad de captación de la energía ambiental que incorpora en su propio beneficio" (38); más adelante considera que la vida no sería comprensible "sin aquel algo que se nos escapa", mezcla de Mnemo o Psique. En otra parte nos dice que "La Vida es materia, pero materia vitalizada" (39), el pero que no podía faltar en una tesis vitalista. Como la entropía tiene que ver con el azar y la probabilidad, algunos autores recalcan este aspecto en sus apreciaciones; tal es el caso del biólogo húngaro Albert Szent-Györgyi, quien deja asentado en un libro reciente: "La vida es un fenómeno totalmente improbable, que se generó quizá, una sola vez durante los miles de millones de años de la historia del mundo(...) Si yo interrogara a un físico acerca de las probabilidades de que los trillones de electrones y núcleos atómicos se unieran y quedaran en la posición en la que ellos están en mi cuerpo, la respuesta sería que la probabilidad era prácticamente cero" (40). Y en otro trabajo reciente, manifiesta algo semejante: "Lanzando ladrillos al azar nunca construiremos un castillo o un templo griego por muy grande que sea el tiempo disponible" (41). En esa misma óptica encontramos las declaraciones de otro biólogo vitalista, Paul A. Weiss, acerca de la probable aparición de la vida: "Me anticipo a la inescapable conclusión de que la vida, como la conocemos, posiblemente, no pudo haberse desarrollado gradualmente en etapas consecutivas, sino que debió haberse llevado a cabo en un sólo gran cataclismo (...) La aparición fortuita -

(38) M. Crusafont-Pairó (1972), El Fenómeno Vital, Ed. Labor, Barcelona pp.100-101.

(39) M. Crusafont-Pairó (1966), Problemática de la Evolución en las Ciencias Positivas, en M. Crusafont-Pairó et al (eds.) La Evolución, Ed. Biblioteca de Autores Cristianos, Madrid, p. 1-51.

(40) Szent-Györgyi (1972), The Living State, Ed. Academic Press, Nueva York, p.4-5

(41) Szent-Györgyi (1972), The Evolutionary Paradox and Biological Stability, en: D.L. Rohlfsing y A.I. Oparin eds. (1972), Molecular Evolution. Prebiological and Biological, Ed. Plenum Press, Nueva York, p. 111.

de tan singular evento, en el cual todas las piezas cayeron en sus lugares apropiados en subordinación a un nuevo orden total de su sistema colectivo, parece ser tan infinitesimalmente pequeño que por un lado se ha proscrito del interés científico por considerarlo, extracientíficamente, un "milagro", o por otro lado, una frustración científica ha anulado la proposición" (42).

Pero no solamente los vitalistas se dejan llevar por la "improbabilidad" de la vida basados en el entropismo, también los mechanicistas, como Garret Hardin, quien nos dice en un libro muy conocido: "Todavía no hemos observado la formación de una molécula de virus o de algo que se le parezca. Indudablemente, la probabilidad de formar una molécula tan complicada por tal proceso es muy baja. Pero - dado tiempo suficiente, puede aún ocurrir un acontecimiento sumamente improbable (...). No sabemos con precisión cuánto tiempo pudo transcurrir para que tal acontecimiento improbable tuviera lugar; pero parece cierto que hayan transcurrido - mil o dos mil millones de años antes de que comenzara la vida. Y como el acontecimiento improbable tenía que haber ocurrido solamente una vez, la hipótesis Retrófica (*), en el estado que actualmente guardan nuestro conocimiento y nuestra ignorancia, no parece irrazonable" (43).

Indudablemente, es notoria la enorme semejanza que guardan las ideas hasta aquí expuestas. Una vez más se pone de manifiesto la congruencia que en la actualidad interrelaciona las teorías mechanicistas y vitalistas.

Para disipar cualquier duda que pudiera quedar, leamos las palabras del jesuita Jules Carles en su libro Los Orígenes de la Vida: "Dejando a un lado el pun

(42) P.A. Weiss (1973), The Science of Life, Ed. Futura Publishing Co., Nueva York pp. 73-77.

(*) Se refiere a la hipótesis de Oparin-Haldane

(43) G. Hardin (1969), Biología, sus Principios e Implicaciones. Ed. Herrero, México, p. 209. Un enfoque similar al de Hardin se puede ver en: R.N. Ondarza (1975), Origen y Evolución de la Vida, Naturaleza, 6(4): 161-169, o en su libro: R.N. Ondarza (1976), Biología Moderna, Ed. Siglo XXI, México, pp. 305-325.

to de vista dialéctico que sutaliza las diferencias, el paso de la materia a la vida sigue sin explicación y hasta es científicamente inexplicable". Desde luego, el autor en este caso se refiere al problema del origen de la vida. En definitiva, pues, debemos recurrir al azar, y es aquí donde se presentan las teorías espiritualistas, según las cuales es necesario al espíritu para explicar ese paso imposible: "(...) si hubiéramos podido hallarnos en el lugar y en el momento de la creación de la primera sustancia viva, en el momento mismo de la intervención de Dios, no habríamos visto a un anciano de gran barba amasando conscientemente la materia o dándole órdenes, sino simplemente hubiéramos contemplado una serie de acontecimientos como los que puede imaginar un bioquímico, sin que nada extraordinario perturbase el desarrollo normal de las leyes de la naturaleza. Pero ese desarrollo no orientaba los elementos en esta dirección improbable que los conducía a la vida, y la menor desviación habría podido hacer fracasar todo: la vida pudo aparecer porque Dios dirigía los acontecimientos. Así llegamos a la teoría de Santo Tomás y a su concepción del mundo y de la acción divina" (44). Como podemos ver la idea entropista del azar se aviene perfectamente a las doctrinas religiosas, que quiere escudar, - con un científicismo, para recuperar algo de su perdido prestigio ante los ojos - de los científicos. (No hay que olvidar que la teoría de la "muerte térmica" del universo ha servido como un argumento para justificar a las doctrinas religiosas)(*)).

Basándose en la generalización positivista del segundo principio de la - termodinámica, la vida aparece como un fenómeno fortuito, extraño, improbable. ¿Cómo explicar su existencia? No es extraño que los entropistas, o sus simpatizantes, nos hablen de un "enigma", un milagro: ¿qué puede hacer el biólogo ante esta situación? ¿observar, analizar acaso, sintetizar, pero no interpretar, como aconseja M.

(44) J. Carles (1970), Los Orígenes de la Vida, Ed. Universitaria de Buenos Aires, Bs. As., pp. 78-83.

(*) Véase op. cit. (32) pp. 25-26.

Crusafont-Pair61. Quizá la solución sea la que proponen los mecanicistas: "la vida es un accidente de la materia", un "feliz accidente", o sea, debe insistirse en la vieja y burda idea de la generación espontánea tal como la concebían - Pouchat, Haeckel, o como la proponen hoy Woltareck (45) y otros, que hablan de "moléculas vivientes", "genes desnudos", etc. Pero, ¿cómo concebir un acontecimiento cuya probabilidad es infinitesimal?. Tal vez para responder esta angustiosa pregunta recurramos a los argumentos siguientes: "El génesis era un evento estadísticamente improbable(...) ¿Hubo una abolición temporal del segundo principio que permitió un concurso fortuito de átomos?. Si en así, el estudio del revocador y el génesis es un tema propiamente que se deja a los teólogos" (!) (46).

¿Puede un biólogo conformarse con este tipo de proposiciones? La respuesta parece obvia, y no obstante, abundan los científicos actuales que son arrastrados por los mares tempestuosos del entropismo, invitando a que la ciencia se cruce de brazos ante un problema biológico fundamental. Los planteamientos varían, pero son variaciones sobre el mismo tema; los hay abiertamente de corte místico (47,48), idealista-cientificista (30), mecanicista (49), en fin, la lista sería prácticamente interminable.

5. EL IRRACIONALISMO DE JACQUES MONOD.

Merace un apartado especial el pensamiento de uno de los fundadores de la Biología Molecular, el biólogo francés Jacques Monod, premio Nobel 1965. Las ideas de Monod tienen gran difusión actualmente no sólo entre los biólogos, sino incluso -

- (45) H. Woltareck (1967), La Vida Invertebrada, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 41-43.
- (46) S.W. Agriat y L.G. Hepler (1967), Order and Chaos, Laws of Energy and Entropy, Basic Books, Nueva York, p. 205. El subrayado es mío.
- (47) E.W. Sinnott (1968), Matter, Man and Mind, Ed. Athaneum, Nueva York, pp. 20-25.
- (48) E.W. Sinnott (1972), The Bridge of Life, Ed. Simon and Shuster, Nueva York, pp. 19-26, 27-68 y 70-72.
- (49) H.K. Guesen (1974), Remarks of the chemical conditions on the Surface of the Primitive Earth and the Probability of The Evolution of Life, en: J.Oró, S.L. Miller, et al. eds. (1974), Comochemical Evolution and the Origins of life, Ed. Heidal, Dordrecht, pp. 9-14.

entre los no especialistas. Me ocupo de ellas aquí, en especial porque arraigan en el entropismo, porque son un caso extremo de éste y porque en cierta forma con jugar las tesis vitalistas contemporáneas. Además los alcances de la ideología monodiana son enormes, no sólo en el plano biológico.

En 1967, Jacques Monod pronunció un discurso en el Collège de France que terminaba con la siguiente pregunta: "¿Qué ideal proponer a los hombres de hoy, - que esté por encima y más allá de ellos, sino la reconquista por el conocimiento, de la nada que ellos mismo han descubierto?" (50). No es de extrañar que aquellas palabras de Monod causaran inquietud y diversos debates en los círculos intelectuales de Francia y del resto de Europa.

En 1970, este autor publicó su libro El Azar y la Necesidad. Ensayo sobre la Filosofía Natural de la Biología Moderna (51), en el cual se ampliaban y desarrollaban plenamente las ideas esbozadas en la "lección inaugural", o sea, esta obra expone el pensamiento teórico de Monod cabalmente.

De acuerdo con el citado autor, los seres vivos poseen las siguientes características específicas fundamentales: a) teleonomía, b) morfogénesis autónoma, y, c) invariancia reproductiva. Las dos últimas están comprendidas por Monod en el concepto de emergencia, en la "lección inaugural".

a) "La Teleonomía -nos dice Monod en la lección inaugural- es evitar hablar de finalidad. No obstante 'todo sucede como si' los seres vivos estuviesen estructurados, organizados y condicionados de cara a un fin: la supervivencia del individuo y sobre todo la de la especie" (p.15). Tres años más tarde Monod revisa esta apreciación y declara: "(...) una de las propiedades fundamentales que caracterizan

(50) J. Monod (1972), Lección Inaugural de la Cátedra de Biología Molecular del Collège de France, en: Del Idealismo Físico al Idealismo Biológico, Ed. Cuadernos Anagrama, Barcelona, pp. 11-43. El subrayado es mío.

(51) J. Monod (1971), El Azar y la Necesidad. Ensayo sobre la Filosofía Natural de la Biología Moderna, Ed. Barral, Barcelona.

sin excepción a todos los seres vivos: la de ser objetos dotados de un proyecto que a la vez representan en sus estructuras y cumplen con sus funciones y logros (performances) (*) (...) En vez de rebuscar esta noción es indispensable reconocerla como esencial a la definición misma de los seres vivos. Diremos que estos se distinguen de todas las demás estructuras de todos los sistemas presentes en el universo por esta propiedad que llamaremos (teleonomía)" (51, p.20). De este modo, el 'como si' de la "lección inaugural" no transforma en una afirmación categórica en El Azar y la Necesidad, suprimiéndose, por lo tanto, ese "cierto recato". Como Monod no quiere aparecer por esas declaraciones como un vitalista, "resuelve" el problema usando la palabra teleonomía en substitución de la palabra finalidad. - Animismo, indica que todo proyecto particular es parte de un proyecto general, al cual denomina proyecto teleonómico esencial; estas son sus palabras: "Todas las adaptaciones funcionales de los seres vivos como también todos los artefactos configurados por ellos, cumplen proyectos particulares que es posible considerar como aspectos o fragmentos de un proyecto primitivo único, que es la conservación y multiplicación de la especie" (51, pp. 24 y 25). Tales declaraciones, sin temor a equivocarnos, se asemejan substancialmente a las siguientes: "(la finalidad interna)... es la armonía de todas las partes de un organismo singular, de modo tal que su conservación y la de su especie se presentan como la finalidad de esta misma armonía" (52). Estas palabras fueron escritas hace ciento cincuenta y ocho años no por un biólogo molecular, sino por un filósofo, por el padre del irracionalismo: Arthur Schopenhauer (1788-1860). La única diferencia perceptible entre ambos textos radi-

(*) En El Azar y la Necesidad, aparece originalmente el término performances, mismo que conserva el traductor de la versión castellana; dicho término puede ser traducido como funciones, acciones o logros. Aquí utilizaré en general los términos funciones y logros conjuntamente, y para evitar confusiones emplearé la palabra performances a continuación y entre paréntesis.

(52) Tomado de N. Abbagnano (1966), Diccionario de Filosofía, Fondo de Cultura Económica, México, p. 557

ca en el lenguaje empleado.

b) Monod considera que los seres vivos son máquinas capaces de construirse a sí mismas. A esta propiedad específica de los organismos vivos la denomina morfogénesis autónoma. La estructura de estas "máquinas" es formada por fuerzas internas, a diferencia de las máquinas y artefactos construidos por el hombre y otros animales, cuya estructura es debida a fuerzas externas.

c) En virtud de la invariancia reproductiva, los seres vivos o "máquinas vivientes" tienen "el poder de reproducir y transmitir ne varietur la información correspondiente a su propia estructura". (51,p23).

Según el biólogo francés, la invariancia reproductiva y la teleonomía son las más importantes de las tres propiedades citadas. Todas estas características fundamentales de las "máquinas vivas" están, a decir de Monod, íntimamente relacionadas.

Así pues, el proyecto teleonómico esencial consiste, en un sentido más amplio, en la transmisión de una generación a otra del contenido de invariancia característico de la especie. "Todas las estructuras -nos dice Monod-, todas las funciones y logros (performances), todas las actividades, que contribuyen al éxito del proyecto esencial, serán llamadas teleonómicas" (51,p.25)⁽⁶⁾. En otro párrafo, Monod intenta persuadir a sus lectores de que su concepto de teleonomía no tiene nada que ver con el finalismo o el vitalismo y, valiéndose de un retruécano, nos dice que la teleonomía es "la noción que se impone con la más inmediata evidencia - por el examen de las estructuras y de las funciones y logros (performances) de los seres vivos(...) Noción que, sin embargo, se revela al análisis profundamente ambiguo, ya que implica la idea subjetiva de 'proyecto' "(51, p.24). Declaraciones como ésta son las que sorprenden y seducen a muchos lectores.

La noción de teleonomía es efectivamente ambigua en el discurso de Monod, -

(6) El subrayado de la última línea es mío.

jamás la aclara, y no lo hace porque entonces no podría darle el sentido y justificación que él quiere darle subrepticamente, y pretende apoyarse, a su vez, en el sofisma aquel de que la teleonomía "se impone con la más inmediata evidencia", el cual es una proyección antropomórfica contra la cual, supuestamente, está Monod. Desde las épocas más remotas fue más fácil para el hombre explicarse la existencia y manifestaciones de la vida considerándolas como seres determinados por causas finales, pero eso es apariencia amazotada, es el antropomorfismo más ingenuo: por lo tanto, "la inmediata evidencia" de la cual habla Monod, es la apariencia, la superficie sobre la que no es posible basar una ciencia, ni le autoriza hablar en nombre de ella. Esa tesis monodiana seguramente tiene su origen en la doctrina positivista de la experiencia inmediata.

El autor insiste, no obstante, en convencer a sus lectoras de su total desacuerdo con el vitalismo y el animismo en sus diversas formas. El centro de la discrepancia es nuevamente la teleonomía. Según Monod, los vitalistas conciben a la teleonomía como el abismo infranqueable que separa a los seres vivos de los inertes, es su cualidad suprema y fundamental de la vida, cualidad que se identifica a veces como elán vital, espíritu, entelequia, fuerza vital, etc. Los vitalistas, a juicio de Monod, pueden clasificarse en metafísicos, como Bergson, y en científicos como Kessner y Polanyi (51, pp.37-41).

Por otra parte, este autor señala que los animistas son aquellos que creen que la teleonomía es un principio universal gracias al cual la vida apareció y ha evolucionado hasta el hombre; los ejemplos de este modo de pensar, señala el referido biólogo francés, están encarnados en las figuras de Teilhard de Chardin y los marxistas.

Finalmente, apunta Monod que la interpretación científica de la teleonomía es la de considerarla propia, exclusiva de los seres vivos (de la biósfera), pero

como un producto del azar. Esta propuesta de Monod implica un dilema: el de la relación de prioridad entre la invariancia reproductiva y la teleonomía (esto estaría en relación con el origen de la vida). Los vitalistas y los animistas dan la prioridad o anterioridad a la teleonomía respecto de la invariancia. Pues bien, lo consecuente con los conocimientos científicos es el considerar primero el origen de la invariancia; de este modo, el multicitado autor se siente a salvo de las apreciaciones vitalistas y animistas, lo cual ha seducido a muchos lectores, especialmente biólogos.

Mostraré a continuación que todo lo declarado por Monod es un sofisma. - Realmente su rebelión contra el vitalismo es una rebelión de rodillas.

Indudablemente que su pensamiento se inserta en el entronismo, lo cual se puede constatar leyendo las siguientes líneas: "Podemos decir que la existencia - de los seres vivos (es decir, los seres vivos, cuyas estructuras y funciones deben ser reconocidas como la muestra completa y evidente de alguna clase de proyecto) - es un constante desafío y una amenaza para el postulado de objetividad" (53), las cuales se engarzan con estas otras de su discurso en la "lección inaugural: la emergencia -es decir, la suma de la morfogénesis autónoma y la invariancia reproductiva- debe preceder a la teleonomía, (hoy) nos parece la única compatible con el segundo principio" (50). En otra parte, Monod nos dice que el postulado de objetividad, al cual considera además como piedra angular de la ciencia biológica, es un "postulado puro, por siempre indemostrable, porque evidentemente es imposible imaginar una experiencia que pudiera probar la no existencia de un proyecto, de un fin -perseguido, en cualquier parte de la naturaleza" (51, p.31) Aquí muestra Monod -perfectamente su filiación positivista. Como se ha visto (supra, III, 3), el neoposi

(53) J. Monod (1974), On Chance and Necessity, en: F. Ayala y Th. Dobzhansky (eds.) (1974), Studies in the Philosophy of Biology, Ed. University of California Press, Berkeley, pp. 356-375. El subrayado es mío.

tivismo plantea que sólo aquello verificable a través de la experiencia inmediata es válido; queda, por tanto, excluida cualquier hipótesis en sentido negativo. Con esto en mente yo no puedo demostrar que el proyecto, la finalidad, etc. no existen, por vía de un experimento. Sería lo mismo si yo planteara la no existencia de los negasos, no habría un método empírico, según la concepción neopositivista, que demostrara tal cosa. ¡A tales sinsentidos llega la regla convencionalista del positivismo! Sin embargo, en su libro tan debatido, Monod no define con claridad el mencionado postulado de objetividad, esto lo hace en otro lugar, más tarde: "El postulado de objetividad es el rechazo, sistemático o axiomático, a que pueda adquirirse algún conocimiento científico sobre la base de teoría que involucren explícitamente o no, a un principio teleonómico" (53). Y tiene razón el autor, la ciencia es el estudio de los objetos del universo (de ahí el término "objetividad"), los cuales son independientes del sujeto o sujetos que los estudian, pues de lo contrario se hablaría de un "postulado de subjetividad" y eso sería antropomorfismo que es el terreno que, precisamente, pisa Monod.

Nos estamos internando, muy a pesar de nuestro autor, en el terreno de las entelequias y la intuición, que tanto le preocupan, y nos estamos alejando de la razón.

Lo anterior se viene a confirmar de manera palmaria cuando Monod se enfrenta al problema del origen de la vida: "la vida ha aparecido sobre la tierra: ¿cuál era antes del acontecimiento la probabilidad de que apareciera?(...) no queda excluida, al contrario, por la estructura actual de la biósfera, la hipótesis de que el acontecimiento decisivo no se haya producido más que una sola vez. Lo que significaría que su probabilidad a priori es casi nula(...) esta idea repugna a la mayoría de los hombres de ciencia. De un acontecimiento único la ciencia no puede decir y hacer nada. No puede "discurrir" formando una clase, más que sobre acontecimientos cuya probabilidad a priori, por débil que sea, es finita" (51, pp.158-160).

y rubrica estas palabras indicando: "De hecho, no es de un "problema" de lo que debería hablarse, sino más bien de un enigma" (ibid).

Esta es la consabida posición de los entropistas respecto de los problemas más fundamentales de la biología, que deja abierta la puerta a las explicaciones extramundanas, religiosas, pues como dice el filósofo y sociólogo inglés John Lewis: "Si estamos imbuidos de la idea de que el hecho mismo de la existencia constituye un misterio, no tardaremos en andar buscando una explicación del universo fuera - del universo" (54). Pero el pensamiento monodiano va más allá del problema del origen fortuito de la vida, porque todo lo explica, si es que acaso cabe la palabra, remitiéndose a la casualidad, al azar; esta devoción por el azar, que se antoja fanática, es lo que hace peculiar la "filosofía natural" de Jacques Monod. En efecto, todo surge por azar en el discurso monodiano; es por esta razón que considera al proceso evolutivo como una cadena aleatoria de mutaciones negándole, en esencia, todo papel importante a la selección natural; por ello afirma categóricamente que el mensaje genético del ADN es "mensaje que según todos los criterios posibles, parece haber sido escrito al azar. Mensaje sin embargo, cargado de un sentido que se revela en las interacciones discriminativas, funcionales, directamente teleonómicas, de la estructura globular (*), traducción a tres dimensiones de la secuencia lineal (...) Azar captado, conservado, reproducido por la maquinaria de la invariancia y así convertido en orden, regla, necesidad. De un juego totalmente ciego, todo, por definición, puede salir, incluida la misma visión" (51, - p.110) (!). En armonía con tales afirmaciones no es extraño que Monod postule - también el origen fortuito del hombre. En este caso, el biólogo francés resalta el aspecto que a su juicio tiene el mayor significado: el lenguaje, que juzga -

(54) J. Lewis (1969), Ciencia, Fe y Excepcionismo, Ed. Grijalbo, colec. 70, p.20.

(*) El autor se refiere ahí a la estructura tridimensional de las proteínas enzimáticas que son codificadas por el ADN.

como "un acontecimiento único en la biósfera" que abre el camino para un nuevo reino, para otra evolución, la de la noósfera (51.p.142) (término que tomó de - Teilhard de Chardin a quien nuestro autor ataca tanto). A partir de este momento, Monod irrumpe en el campo social y político sin desviarse un ápice de su línea de pensamiento; a ello me referiré después sólo muy someramente.

Por lo pronto es necesario hacer algunos señalamientos pertinentes.

En primer lugar está el uso del término teleonomía, que en el discurso de Monod es un disfraz de la finalidad o la intencionalidad. Nuestro citado autor no aclara el significado real del término que él tantas veces emplea y que juega un - papel determinante en sus razonamientos. Este término proviene de las voces griegas: télos, fin y nómos, ley. Pues bien, la teleonomía es efectivamente ambigua - como nos dice Monod, pero porque él la hace ambigua. El término referido tiene un significado totalmente distinto al que el autor de El Azar y la Necesidad le ha - dado subrepticamente: la teleonomía ha sido recientemente acuñada por la teoría - de la información y la cibernética y hoy se está introduciendo en otras áreas, en particular dentro de la biología. Se trata de una expresión para denotar un seudo propósito o un fin aparente a sabiendas de que en realidad no lo tiene, pero que resulta útil para resolver diversos problemas; es decir, se trata de una expresión - con significado heurístico. En cambio Monod da a la teleonomía un sentido ontológico, llenando con ello uno de los requisitos del idealismo biológico: el finalista.

Luego el autor nos plantea que la teleonomía resulta una paradoja frente a las leyes de la materia inerte, el azar absoluto, pero que se trata en realidad de una contradicción epistemológica (51, p. 31). es decir, aparente, lo cual avala en otro párrafo. " ... el progreso de la neurofisiología y de la psicología experimental comienzan a revelarnos al menos algunos aspectos del funcionamiento del -

sistema nervioso. Lo bastante para que sea evidente que el sistema nervioso central no puede, y sin duda no debe expedir a la conciencia más que una información codificada" (51, p.48) (*), que es una tesis clásica del positivismo para justificar el idealismo subjetivo de Mach ("los complejos de sensaciones"), de Berkeley ("ser es ser percibido"), o las del fisiólogo mexicano Arturo Rosenblueth cuando señala: "Los mensajes codificados no nos pueden proporcionar información alguna acerca de la "naturaleza" del universo material. Cualquier afirmación o especulación que se haga acerca de esta "naturaleza", así la haga un físico, un fisiólogo o un filósofo, está condenada de antemano a no tener absolutamente ningún significado (...) y pienso que esta limitación se debe principalmente al hecho de que, en cuanto llegan los mensajes que recibimos del exterior a las fibras sensoriales aferentes, dichos mensajes están cifrados en un código que no tiene nada en común con los objetos o - eventos originales salvo la estructura" (55).

Aún con este alambicado lenguaje se puede reconocer el elemento fundamental del agnosticismo positivista. Empero, es esta fraseología la que conquista a muchos. De igual modo, cualquier otro elemento que pueda fortalecer estas tesis es bienvenido por los positivistas. En esta dirección ha apuntado el segundo principio de la termodinámica elevado a la categoría de ley suprema del universo. Es en ella en la que se apoya en gran medida el irracionalismo, en nuestro caso ilustrado por Jacques Monod.

Para comprender mejor esto, daremos un vistazo a las extrapolaciones de Monod y a sus justificaciones, lo que muy bien podría llamarse del idealismo biológico al idealismo sociológico.

Reduciendo los fenómenos sociales a biológicos (fiel a la ideología positivista), el autor nos habla primero de la presión de selección (evolutiva) en la es-

(*) El subrayado es mío.

(55) A. Rosenblueth (1971), Mente y Cerebro, Ed. Siglo XXI México, pp. 69-73.

pecie humana, para luego instalarse cómodamente en el terreno social y plantear - soluciones en base a la biología molecular, sin olvidarse de que navega por los mares tempestuosos del azar absoluto universal. Así, pues, en una parte de El Azar y la Necesidad nos dice: "dominando en adelante sus cercanías, el Hombre no tenía ya frente a sí más adversario serio que él mismo. La lucha intraespecífica directa, la lucha a muerte se convertía desde entonces en uno de los principales factores de la selección en la especie humana" (¡ sic., ibid) (*). Para el referido biólogo, la guerra, el genocidio, "pudo favorecer la expansión de las razas mejor dotadas de inteligencia, de imaginación, de voluntad, de ambición"(sic), y no se para en mientes al afirmar: "a partir al menos de un cierto grado de desarrollo y de expansión de la especie, la guerra tribal o racial ha jugado evidentemente un papel importante como factor de evolución" (sic., ¡!) (*). Su tesis pretende apoyarse, además, en "los peligros de degradación genética de las sociedades modernas" debido a una selección no darwiniana; es decir, no se favorece ya la "supervivencia del más apto" en sentido genético, porque la civilización, la medicina, han abolido - en casi su totalidad esta fuerza; "no sólo la genética molecular moderna no nos propone ningún medio de actuar en el patrimonio hereditario para enriquecerle con nuevos rangos, para crear un "superhombre" genético, sino que revela la vanidad de una esperanza así: la escala microscópica del genoma prohíbe por el momento, y sin duda para siempre, tales manipulaciones. Aparte de las quimeras de la ciencia ficción, el único medio de "mejorar" la especie humana sería operar una selección deliberada y severa. Pero, ¿quién querrá, quién osará emplearla?" (¡!) (51, pp.175-178) (*). Lo cual resulta más apocalíptico que las teorías neomalthusianas de la "explosión demográfica" y se complementa con ella.

Es natural que ante este panorama "sombrio" Monod nos hable de "la angustia del hombre moderno" y proponga como única salida la ciencia, que es según su -

(*) El subrayado es mío.

decir, "el valor supremo del hombre" (56). Pero ¿qué valor puede tener una ciencia que no es capaz de resolver los problemas más relevantes, que sólo puede ver un mundo caótico en donde resulta absurda la propia existencia de la vida, incluyendo la humana; una ciencia que se propone "la reconquista por el conocimiento, de la nada"? ¿en dónde radica el valor de esa ciencia?, si Monod comparte la opinión de que "cada victoria de la ciencia es una victoria del absurdo" (50) Y si el "absurdo" es lo diametralmente opuesto a la razón: es la sinrazón. Implica - por lo tanto que la ciencia es irracional, opinión que evidentemente comparte Monod y que se ajusta en su totalidad al ideal de "la nada" (ver el primer párrafo de esta sección), propuesto por Monod. Si por otra parte entendemos que "la nada" es el no-ser, la inexistencia, resulta entonces que la ciencia es el estudio y - conquista de la nada por medio de la sinrazón !

Estas ideas, por supuesto, no son nuevas, ya que Monod las toma prestadas de los existencialistas. A través de la exposición monodiana se percibe con claridad esa atmósfera pesimista, trágica y nihilista tan propia de esos filósofos, quienes han tenido gran influencia en Francia. La filosofía existencialista se destaca, como se sabe, por su irracionalismo, por su rebelión contra la razón en todos sentidos, al igual que la filosofía de Nietzsche, por la cual Monod muestra una simpatía explícita, sobre todo en su "lección inaugural" (*).

Para Monod, como se ha visto, el mundo es absurdo y por ende irracional. Así lo dice claramente en la "lección inaugural" y lo repite en El Azar y la Necesidad, aunque en este caso a través de muchos giros.

(56) J. Monod (1972), La Ciencia, Valor Supremo del Hombre, entrevista de la rev. "Raison Présente", en: Epistemología y Marxismo, Ed. Martínez Roca, Barcelona, (1974), pp. 15-26.

(*) No es casual que por las declaraciones anteriores, El Azar y la Necesidad, haya sido implantado como libro de texto en las escuelas secundarias de Grecia - cuando gobernaba la junta militar fascista, y sea ahora una lectura recomendada por la junta homónima que encabeza Pinochet, en Chile.

Pero desde luego Monod intenta justificar sus juicios recurriendo para ello a la ciencia -a la cual deforma con su intención ideológica-, utilizando así mismo, y no sin cierta perspicacia, términos novedosos y un lenguaje que puede parecer totalmente materialista; desarrolla su discurso para internarse al final, comodamente, en el terreno de la ética y del socialismo, todo lo cual fascina a los incautos.

Sin embargo ¡las ideas de Monod son ampliamente difundidas y aceptadas - entre los biólogos, sobre todo entre los llamados moleculares! ¿Cómo explicar este hecho?

6. DEL REDUCCIONISMO MATERIALISTA AL REDUCCIONISMO IDEALISTA.

Hemos hecho un breve recorrido por el pensamiento filosófico contemporáneo y su influencia en las ideas biológicas, lo cual reviste gran importancia para el problema de la bioénesis pues innumerables interpretaciones tienen su base en ese pensamiento. Se ha visto la influencia que el positivismo ha ejercido en la ciencia, lo cual comúnmente crea la falsa imagen de que el positivismo es una filosofía materialista, pero la verdad es que se trata de una filosofía totalmente opuesta al materialismo.

La filosofía positivista es la filosofía dominante en nuestra época. En todas las variantes del pensamiento occidental (o mejor dicho, burgués), encontramos elementos importantes de ella.

Eli de Gortari explica que: "en el terreno filosófico, la expresión revolucionaria de la burguesía tuvo su culminación con la dialéctica de Hegel. En cambio, el positivismo vino a ser el exponente de la iniciación del régimen capitalista implantado por la burguesía. Como tal, mantiene aún esa confianza ilimitada en la razón que distingue a la filosofía moderna en su combate contra la teología, pero, al mismo tiempo, comprende ya una justificación del orden burgués, cuya conservación considera indispensable (...)", al mismo tiempo aclara que "el desarrollo del capitalismo ha traído como consecuencia que sus expresiones filosóficas acaben por

perder también ese carácter racional, dando por resultado las distintas corrientes irracionalistas que existen en la actualidad" (57). En efecto, encontramos todavía en el pensamiento de Comte cierta confianza en la razón, pero ya pone cor tapisas a ésta; la ciencia según Comte, sólo puede describir los hechos percibidos, trascenderlos, explicarlos, es hacer metafísica. Avenarius y Mach limitan aún más a la razón. La ciencia trata (según ellos), sólo de los "complejos de sensaciones", la razón no puede ir más allá ni suponer la existencia de un mundo externo como fuente de esas sensaciones; después, los neopositivistas restringen aún más a la posibilidad de la razón cayendo en el solipsismo, los problemas del conocimiento son reducidos a problemas del lenguaje. En fin, en la evolución del positivismo se van acentuando sus rasgos irracionalistas. Por esta razón Lukács caracteriza a toda la filosofía burguesa posterior a Hegel como irracionalista (58).

Debido a sus terribles inconsistencias y contradicciones la filosofía positivista de nuestros días ha tenido que modificar sus planteamientos, pero sigue fiel a la tradición que la caracteriza y actualmente ha desembocado en el estructuralismo, que muy bien podría calificarse de positivismo objetivo. No es posible que me ocupe de esta corriente, ahora de moda, dados los límites de este trabajo, pese a que está teniendo gran influjo en el pensamiento biológico actual.

En este campo descuella el nombre de Jean Piaget (59), quien reduce el problema del conocimiento a un problema de origen biológico. En rigor, puede afirmarse que la limitante impuesta a la razón por los estructuralistas, es la estructura, aunque generalmente es empleada esta palabra sin una definición clara. Con todo -

(57) E. de Cortari (1973), Ciencia y Conciencia en México, Ed. Sep-Setentas, México, pp. 71-72.

(58) G. Lukács (1972), El Asalto a la Razón, Ed. Grijalbo, México.

(59) J. Piaget (1969), Biología y Conocimiento, Ed. Siglo XXI, México, Véase también del mismo autor (1970), Naturaleza y Métodos de la Epistemología, Ed. Proteo, Bn. As.; (1970), Epistemología genética, Ed. A. Redondo, Barcelona; y, (1971), El estructuralismo, Ed. Proteo, Bn. As.

esta corriente ha tenido fundamentalmente su campo de acción en las ciencias sociales. En la Biología muestran tendencias estructuralistas Gunther S Stent, Francois Jacob, Marcel Florkin y otros.

Otro rasgo de la filosofía burguesa dominante (que he mostrado aquí), es su reduccionismo, el cual se ha confundido erróneamente con el mecanicismo. Es cierto que este aspecto reduccionista lo comparten otras doctrinas, pero en tanto que uno está basado en una concepción del mundo netamente idealista el otro es de origen materialista. Es en virtud de esta regla reduccionista que el idealismo filosófico pasa a la biología a través de la física. Y es ahí donde ubicamos al entropismo que hoy por hoy es el alimento principal de las tesis vitalistas, las cuales tienen enormes repercusiones para el desarrollo de la biología y para el problema del origen de la vida en particular. En realidad, todo este modo de pensar es lo que Hegel llamó metafísica, de quien lo tomaron Marx y Engels.

Las premisas de las que parte el entropismo son erróneas; en primer lugar, el enunciado clásico del segundo principio de la termodinámica es un enunciado para sistemas cerrados, y los sistemas vivos, como la mayoría de los sistemas, son sistemas abiertos, pues hay un intercambio de materiales y de energía con el medio ambiente; son tan distintas las características de uno y otro tipo de sistemas - que han merecido estos últimos la creación de una termodinámica de sistemas abiertos, también conocida como termodinámica de procesos irreversibles, la cual ha sido desarrollada desde la década del cuarenta por la escuela de Bruselas encabezada por Ilya Prigogine (60, 61, 62, 63). De acuerdo con la termodinámica fundada por Prigo-

- (60) I. Prigogine (1967), Thermodynamics of Irreversible Processes, Ed. Academic Press, Nueva York.
- (61) P. Glansdorff y I. Prigogine (1971), Structure, Stability and Fluctuations, Ed. Wiley-Interscience, Londres.
- (62) I. Prigogine (1972), La Termodinámica de la Vida, en: Selecciones de "La Recherche", Ed. Blume, Madrid (1974), pp. 199-224.
- (63) I. Prigogine, G. Nicolis y A. Babloyantz (1972), "Thermodynamics of Evolution", Physica Today, 25 (11), 23-28, y 25 (12), 38-44.

gine los seres vivos son estructuras disipativas pues se forman y se mantienen gracias al intercambio de energía y de sustancias con el medio ambiente; mientras se mantenga ese flujo y reflujo de materiales y energía el sistema se mantiene fuera de equilibrio termodinámico (*). En este comportamiento no hay nada de extraño, - cualquier máquina conocida trabaja de esa misma manera; es por lo mismo, que las apreciaciones entropistas son falsas pues consideran a un sistema vivo aislado de su ambiente.

Morowitz (32) plantea que en realidad un sistema biológico o físico trabaja en virtud del flujo de energía libre y no de anentropía, como indicaba Schrödinger. Morowitz refuta al entropismo con un esquema (fig. 2B) en el cual señala tres elementos para explicar la reducción de la entropía (aumento de orden), en una máquina o en un ser vivo; estos elementos son: la fuente de energía libre, un sistema intermedio y un sumidero de energía. La energía fluye en ese esquema en forma unidireccional de la fuente al sumidero, tal como sucedería en una cascada, si entre estos dos puntos colocamos un sistema intermedio, (una turbina, por ejemplo, dicho sistema podrá producir trabajo (energía eléctrica que puede usarse de mil maneras). Este esquema está implícito en todos los textos de termodinámica y nunca se ha puesto atención debida en él (fig. 2A). Lo anterior se puede aplicar al flujo de energía en la biósfera (fig. 2C). Ahora bien, en este o en cualquier otro proceso hay un aumento en la entropía total que nada tiene que ver con una supuesta violación de la segunda ley de la termodinámica por parte de los sistemas vivientes; dicho en otros términos: la suma total de entropía del sistema intermedio y su medio ambiente aumenta, o sea que hay disipación de energía, aunque en el sistema intermedio disminuya. Así pues, mientras se tenga una fuente de energía el sistema intermedio producirá trabajo.

(*) Por estas características de los sistemas vivos con frecuencia se los llama sistemas en estado estacionario, o como los llama von Bertalanffy sistemas en equilibrio fluyente.

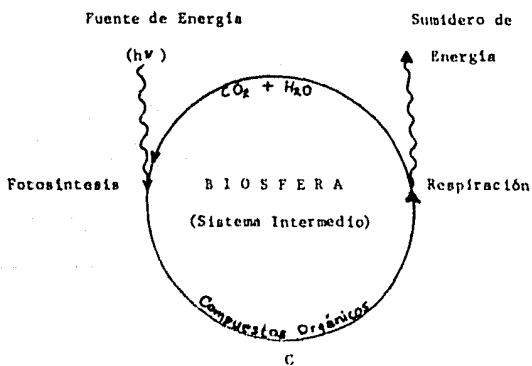
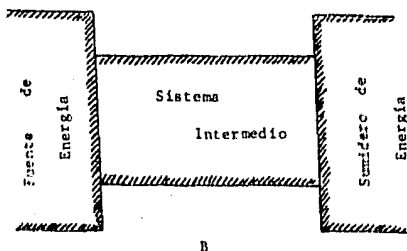
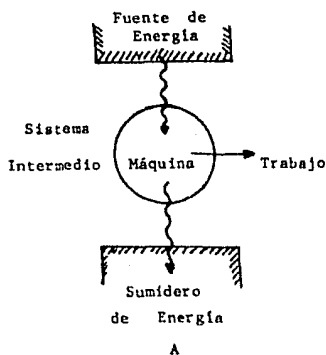


Fig. 2.- Todo sistema termodinámico real está constituido por tres elementos fundamentales: fuente de energía, sistema intermedio y sumidero de energía.

(A), esquema del funcionamiento de una máquina cualquiera en virtud de un flujo de energía libre desde la fuente al sumidero, gracias a lo cual se produce un trabajo.

(B), Esquema empleado por Morowitz (32) para ilustrar el funcionamiento termodinámico de los sistemas cerrados y abiertos.

(C), flujo de energía libre en la biósfera que se ajusta a los esquemas anteriores.

En este sentido son ilustrativas las palabras de Prigogine: "Lejos de encasarse de las leyes físicas, o de aparecer como obra de algunos demonios de Maxwell - luchando contra el segundo principio, la vida aparece como siguiendo las leyes de la física con una plasticidad debida a su composición química y a leyes cinéticas - que resultan de ello. No importa que para situar las estructuras biológicas, parezca esencial apartarse del principio de orden de Boltzmann y tener en cuenta que los fenómenos biológicos característicos se desenvuelven lejos de un estado de equilibrio termodinámico. Habría pues un verdadero umbral entre vida y no vida, pero hay que guardarse de ideas demasiado simplistas" (62) (*). En precisamente ese umbral al que se refiere Prigogine, el que toca desentrañar a la investigación científica del origen de la vida; ya lo dijo Heráclito hace más de dos mil años: "sólo es posible conocer la naturaleza de las cosas a través de su origen", pero para ello hay que desembarazarnos de posturas filosóficas como la positivista, cuya visión mezquina de la ciencia la aparta de los problemas reales y fundamentales, encadenándola de antemano al fracaso.

La otra premisa falsa del entropismo es la generalización audaz del segundo principio de la termodinámica y sus repercusiones en la cuestión de la biogénesis a partir de la materia inorgánica. Los hallazgos astronómicos de sustancias orgánicas en el espacio interestelar y aún la presencia de aminoácidos en los meteoritos carbonosos son un buen indicio del incumplimiento de ese "precepto" natural.

Por otro lado, la mayor parte de los astrónomos está de acuerdo en que la segunda ley no tiene un papel relevante en los procesos del macrocosmos (64, 65, 66)

(64) E. Schatzman (1960), Origen y Evolución del Universo, Ed. UNAM, colec. Probl. Cientif. y Fil. México, pp. 360-362.

(65) P. Morrison (1973), Thermodynamics and the Origins of Life, en: M.A. Gordon y L.R. Snyder (1973), Molecules in the Galactic Environment, Ed. Wiley-Interscience, Nueva York, pp. 443-468.

(66) J. Singh (1970), Great Ideas and theories of Modern Cosmology, Ed. Dover, Nueva York.

(*) El subrayado es mío.

si se comparan con los que tiene la gravitación.

Como se sabe, el indeterminismocuántico y el entropismo son las dos columnas que sostienen al vitalismo de nuestros días. De ahí emana la devoción por el azar de Monod y otros científicos o filósofos, lo que encuadra a la perfección con el postulado positivista que respalda a la causalidad y al determinismo en la actividad científica. Como un positivista no cree en lo absoluto en la causalidad, es absurdo para él hablar de la causa de las sensaciones, lo cual retroalimenta su agnosticismo.

Estas ideas indeterministas tratan de basarse en los errores del determinismo clásico o mecanicista, perfectamente expresado por Laplace. Difícilmente podrá haber un científico que todavía piense en términos de ese determinismo ingenuo, correspondiente a una etapa de desarrollo de la ciencia que ya se ha superado, y sin embargo, el determinismo clásico es válido a nivel del macrocosmos y sólo son inaceptables las generalizaciones cándidas que hizo Laplace (22).

Congruente con su filosofía empirista, los seguidores de Hume y Berkeley confundieron mensurabilidad con determinismo. Einstein refutó muy claramente estos infundios positivistas de la siguiente manera: "si yo digo que la duración media de la vida de tal átomo es indeterminada en el sentido de no ser causada, estoy mostrando una falta de sentido. Puedo decir que yo me encontraré con usted en el día de mañana en algún tiempo indeterminado. Pero esto no significa que el tiempo no esté determinado. Llegue yo o no, el tiempo llegará. Aquí existe una confusión del mundo subjetivo con el objetivo (...) el indeterminismo que pertenece a la física de los cuantos es un indeterminismo subjetivo. Debe estar relacionado con algo; otro indeterminismo carece de significación y está relacionado con nuestra propia incapacidad para seguir al curso de los átomos individuales y prever sus actividades" (21, p.212). Asimismo, el físico David Bohm aseveró que "en verdad no podemos concebir siquiera cómo una cosa pudiera tener propiedades, si no satisfa -

ciera cierta clase de leyes causales" (67).

Para disipar cualquier duda que pudiera albergarse, es necesario hacer una caracterización más precisa del reduccionismo mecanicista, que es el método del materialismo metafísico.

El mecanicismo es tan antiguo como el vitalismo, pero tomó un cuerpo bien definido en los siglos XVII y XVIII, no obstante, comenzó su decadencia en el siglo XIX, ante los nuevos conocimientos científicos y los problemas que planteaban (como se vió en el capítulo anterior). Aquella situación a la que se enfrentaba el mecanicismo puso de manifiesto sus limitaciones y sus inconsecuencias. En el siglo pasado esa doctrina se mantenía en pie principalmente por los éxitos obtenidos en la síntesis de compuestos orgánicos a partir de compuestos inorgánicos, como la síntesis de la urea a partir de cianato de amonio, lograda por Wöhler en 1828, así como la síntesis de ácido acético por Kolbe en 1845 a partir de carbono, hidrógeno y oxígeno, y los centenares más que se lograron en ese período hasta principios de nuestro siglo. Todavía hoy, éste sigue siendo el argumento a favor del mecanicismo. Su error, naturalmente, no radica en su postulado materialista sino en su método reduccionista. La reducción puede ser de valor heurístico en casos especiales, pero no como un método científico consecuente, y menos puede atribuírsele un sentido ontológico. Ya expuse en el capítulo II la inconsistencia de las posiciones mecanicistas en torno al origen de la vida. Así Marx, refiriéndose a los científicos influenciados por la teoría mecanicista indicaba que: "tan pronto como se aventuran fuera del campo de su especialidad, advertimos en seguida los vicios del materialismo abstracto de los naturalistas que dejan a un lado el proceso histórico" (68); también Engels hizo una apreciación semejante que viene a cuento en -

(67) D. Bohm (1959): Causalidad y Azar en la Física Moderna, Ed. UNAM, Colec. Problemas Científicos y Filosóficos, México, p. 30.

(68) K. Marx., (1973), El Capital, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, Vol. 1 p. 303 (Nota al pie de la página).

esta exposición; estas fueron sus palabras: " El viejo método de investigación y de pensamiento que Hegel llama 'metafísico' método que se ocupaba preferentemente de la investigación de las cosas como algo hecho y fijo, y cuyos residuos embrollan todavía con bastante fuerza las cabezas, tenía en su tiempo una gran razón histórica de ser. Había que investigar las cosas antes de poder investigar los procesos (...) La vieja metafísica que enfocaba las cosas como fijas e inmutables, nació de una ciencia de la naturaleza que investigaba las cosas muertas y - las vivas como cosas fijas e inmutables. Cuando estas investigaciones estaban ya tan avanzadas que era posible realizar el progreso decisivo, consistente en pasar a la investigación sistemática de los cambios experimentados por aquellos objetos en la naturaleza misma, sonó también en el campo filonómico la hora final de la - vieja metafísica" (69). Los vestigios actuales del mecanicismo pueden quedar ilustrados en J. Brachet, biólogo belga, quien declaró en el primer Simposio Internacional sobre el Origen de la Vida, celebrado en Moscú en 1957: "La imprecisión - que se deduce de nuestras investigaciones, es que la noción de vida tiene más bien un valor cuantitativo que un valor cualitativo: no hay "ley del todo o nada" que separe al ser vivo de la materia", a lo que respondió N.L. Nuzhdin, de la URSS : "Puede no haber necesidad para substanciar lo incorrecto de esta formulación. Si la materia viva no posee propiedades cualitativas que las distinga de la materia inerte, entonces, probablemente no habría necesidad para llamar a una conferencia sobre el problema del origen de la vida por no haber un material viviente como una forma peculiar específica de movimiento de la materia" (70).

El método mecanicista procede, en pocas palabras, de la siguiente manera: si todos los objetos que integran el universo son materiales y si toda la mate-

(69) V. Engels (1971), Ludwig Feuerbach y el Fin de la Filosofía Clásica Alemana, en: Marx, Engels, (1971), Obras Escogidas, Ed. Progreso, Moscú, vol.2, pp.386-387.

(70) En: A.I. Oparin, A.G. Pasyanski, et al. eds. (1959), The Origin of Life in the Earth, Ed. Pergamon Press, Londres, pp. 361 y 380.

ría está compuesta por átomos, entonces todas las características de esos objetos se pueden explicar a través de las propiedades de sus átomos; o bien, tomando un caso más específico: si la sociedad humana está compuesta de hombres, basta con estudiar a esos hombres para explicar los procesos sociales. Pero, como atinadamente señala Luckács, al "explicar" del mismo modo cualquier acontecimiento en realidad no se explica nada (58, p.300). Por añadidura, al aseverar los mecanicistas que la diferencia entre materia viva y materia inerte es sólo aparente, ponen en peligro su propio sistema filosófico porque cabría la posibilidad de dudar de todo cuanto percibimos, pues podemos sucumbir ante las apariencias y no saber dónde comienzan éstas y dónde la realidad. Por esta razón ha habido muchos materialistas que abrumados por las incongruencias de su pensamiento con los hechos reales terminan por abrazar el idealismo más agnóstico. Es por ello que en nuestro tiempo a menudo resulta imposible distinguir una argumentación mecanicista de una vitalistas, pues ambas están influenciadas por el positivismo.

En el asunto del origen de la vida todavía abundan concepciones mecanicistas, tales como la idea de otras formas de vida posibles no basada en el carbono, o aquellas otras que consideran la sustitución del agua por el amoníaco como disolvente en supuestos sistemas vivos de otros mundos, y las nuevas consideraciones sobre la panespermia o el origen fortuito de los primeros seres vivos, etc (infra,V,311)

Lenin escribió una vez que "la escolástica mató lo que había de vivo en Aristóteles y perpetuó lo que en él había de muerto" (71), del mismo modo, podría agregarse que el positivismo mató lo que había de vivo en el mecanicismo, es decir su materialismo, y perpetuó lo que en él había de muerto, o sea su método reduccionista o metafísico.

Finalmente, debe señalarse que la teoría del conocimiento del positivismo basa sus postulados en una concepción individualista, algo que es del todo insostenible, pues el conocimiento expresado especialmente en la ciencia es un producto -

(71) V.I. Lenin; (1963), Cuadernos Filosóficos, Ed. Estudio, Bs.As. p. 359.

histórico-social. Conciente de este hecho innegable Max Planck declaró de manera categórica que, "ninguna ciencia puede descansar sobre la fragilidad de los hombres considerados individualmente", y planteaba la pregunta: "¿De qué valor son para el mundo las impresiones sensoriales de un simple individuo?" (21, p.83). Ya en el capítulo I, quedó señalado este rango fundamental de toda la ciencia (v. supra, I, 1.4.).

En consecuencia, el criterio de veracidad de los enunciados científicos no puede cifrarse en criterios individuales. "El problema de si al pensamiento humano se le puede atribuir una verdad objetiva, no es un problema teórico, sino un problema práctico. Es en la práctica donde el hombre tiene que demostrar la verdad, es decir, la realidad y el poderío, la terrenalidad de su pensamiento" (72). "El que sea verdad o no un conocimiento o teoría no se determina mediante una apreciación subjetiva, sino mediante los resultados objetivos de la práctica social. El criterio de la verdad no puede ser otro que la práctica social" (73).

Como se explica en el primer capítulo de este trabajo, todos los científicos practican una filosofía (conciente o inconcientemente), a través de la cual interpretan los resultados obtenidos en su labor de investigación, y a menudo esas interpretaciones chocan con el propio contenido de la ciencia. ¿Cómo puede explicarse esa incompatibilidad?. La respuesta está en que el científico, por decirlo así, ha mamado la ideología dominante y muy pocas veces se da cuenta de ello, pues a través del proceso educativo es reproducida ésta de una manera sutil, reforzada además por otros medios casi innumerables.

La filosofía refleja la situación de una sociedad dada. Hoy vivimos una de las crisis más grandes del capitalismo, parecida a aquella de 1929; ahora como en ese tiempo está de moda la filosofía irracionalista (encarnada en el científico

(72) K.Marx (1971), Tesis sobre Feuerbach, en: K.Marx y F.Engels, op y ed. cit. (69, p.401).

(73) H.Taé-tung (1971), Cinco Tesis Filosóficas, Ed. Lenguas Extranjeras, Pekín, p. 7.

Jacques Monod), en un renacimiento de las tesis malthusianas del "peligro demográfico", en el teatro del absurdo, etc. En nuestros días pululan los escritos de científicos como Gunther S. Stent (74) sobre "el fin del progreso", que muy bien pueden compararse con los reportes del "Club de Roma"; a este respecto nos dice E. de Gortari: "...la conmoción producida por estas crisis de transformación siempre es acompañada por manifestaciones de angustia, de parte de quienes pierden la perspectiva y confunden la descomposición de un período con la extinción de la sociedad - (...) Como en las ocasiones anteriores, la conmoción del presente va acompañada por el recrudecimiento de la violencia, desatada por quienes prefieren la desaparición de la humanidad antes que perder sus privilegios inhumanos" (75).

Afortunadamente no todos los científicos caen siempre bajo la férula de la ideología decadente de los agoreros del desastre y la apocalipsis; existen hombres de ciencia que consecuentes con ella se muestran confiados y se dedican a ensanchar los horizontes del conocimiento, denunciando de igual modo los peligros que entraña seguir a ciegas una filosofía irracionalista que condena al hombre a la sumisión y a transformarse en una marioneta de supuestas leyes universales.

En este sentido el estudio científico del origen de la vida es ya de por sí un golpe a esa manera de concebir el mundo.

(74) G.S. Stent (1969), The Coming of the Golden Age, Ed. Natural History Press.
(75) E. de Gortari (1959), El hombre y la Naturaleza, Cuadernos del Sem. de Probl. Cientif. y Fil. Serie II, núm. 13 p. 38.

"la construcción especial del ojo del
hombre no constituye un límite abso-
luto para el conocimiento humano"
F. Engels.

PRODUCCION DE COMPUESTOS ORGANICOS EN CONDICIONES
PREBIOTICAS SIMULADAS.

1.- EVOLUCION QUIMICA.

En la actualidad está bastante difundido el concepto de evolución química, que parece haber sido empleado principalmente por Calvin (1), aunque la idea ya la encontramos en la carta que Darwin envió a su amigo Hooker en 1871 (v. supra, II, 6.1.).

Por evolución química se entiende el proceso de transformación progresiva de los compuestos de carbono que desembocó en la producción de los primeros sistemas biológicos.

Hay los científicos se hallan absolutamente convencidos de que la evolución química es el requisito indispensable para la aparición de la evolución biológica. Asimismo, se considera que esos eventos sucedieron en las etapas primitivas de la Tierra, lo cual, desde luego, no excluye la posibilidad de que la evolución química se haya dado o esté sucediendo en otras regiones del universo. A este proceso de evolución química también se le conoce como evolución prebiótica o biopoyesis (2).

Hasta ahora, sólo tenemos conocimiento de un planeta con vida: la Tierra, por lo tanto, este trabajo estará especialmente circunscrito al origen de las primeras formas de vida en nuestro planeta, lo cual no implica que ignoremos el contexto

(1) M. Calvin (1956), "Chemical Evolution and the Origin of Life", Am. Sci., 44, 428-263.

(2) J. D. Bernal (1959). The Problems of Stages in Biopoesis, en: A. I. Oparin, A. G. Paraynikii et al., eds. (1959), The Origin of Life on the Earth, Ed. Pergamon Press, Londres, pp. 38-53.

to en el cual se llevó a cabo ese proceso, es decir, tenemos que considerar la evolución del universo para poder entender lo sucedido en nuestro cuerpo celeste.

1.1. ATAQUE DEL PROBLEMA.-

Para verificar la hipótesis anterior, planteada explícitamente por Oparin (3,4,5,), se han realizado diversos experimentos bajo condiciones que simulan a aquéllas que supuestamente imperaron en la Tierra primitiva hace $4.5-3.5 \times 10^9$ años. Es ésta la limitante fundamental para la síntesis de compuestos de relevancia biológica en el contexto de la evolución química. En realidad, desde la época de Wöhler (1828), se han sintetizado miles de compuestos que normalmente son producidos por los seres vivos, pero tales síntesis se han realizado en condiciones muy diversas, sin restricciones de ningún tipo. Por lo tanto, la diferencia entre la síntesis orgánica tradicional y la síntesis en condiciones prebióticas supuestas, radica en las condiciones fisicoquímicas en las que se llevan a cabo. Así, por ejemplo, en la química orgánica sintética habitual se emplean una gama inmensa de reactivos y catalizadores en concentraciones excesivamente grandes, temperaturas y presiones que pueden ser muy altas o muy bajas, todo tipo de disolventes no acuosos, etc. En cambio, las experiencias de la química prebiótica deben realizarse con un número menos variado de reactivos y catalizadores a muy bajas concentraciones, el único disolvente que puede emplearse es el agua y las temperaturas y presiones no deben ser tan distintas de las que hoy reinan en la superficie de nuestro planeta.

1.2. ETAPAS DE LA EVOLUCION QUIMICA.-

Para diseñar los experimentos en condiciones prebióticas simuladas se -

-
- (3) A.I. Oparin (1924), Proiskhozhdenie zhizny, trad.al inglés como apéndice en: J.D. Bernal(1967), The Origin of Life, Ed. The World Publ.Co., Cleveland, p. 199-234.
 - (4) A.I. Oparin (1953), Origin of Life, Ed. Dover, Nueva York.
 - (5) A.I. Oparin (1970), Origen de la Vida sobre la Tierra, Ed. Tecnos, Madrid.

toma en cuenta el postulado geológico del actualismo o uniformismo. De acuerdo con este postulado, el ambiente actual y el pasado de nuestro planeta han sido modelados por los mismos procesos, es decir, nuestro planeta ha estado sujeto a las mismas leyes naturales desde que se formó. Esto no implica, desde luego, que la fisonomía de la Tierra sea la misma hoy que en el pasado (6,7). Huelga decir, por ende, la importancia que revisten los estudios geológicos en relación con la evolución prebiótica y el origen de la vida.

En tal sentido, son también de capital importancia los conocimientos que la astronomía puede aportar (v. infra, IV, 4 v V,4).

Tomando en consideración los elementos anteriores y las características organizativas y de composición química de los seres vivos, se han estipulado las siguientes etapas de la evolución química o biopoyesis:

1) formación de biomonómeros, es decir, de compuestos de peso molecular bajo, tales como aminoácidos, bases púricas y pirimidicas, mononucleótidos y ácidos grasos, a partir de una mezcla de gases de estructura química simple (metano, monóxido de carbono, amoníaco, nitrógeno, vapor de agua, sulfuro de hidrógeno, hidrógeno, etc.), en ausencia de oxígeno.

2) formación de biomacromoléculas (polipéptidos, polinucleótidos, polisacáridos, etc), por condensación de los biomonómeros.

3) formación de microsistemas polimoleculares con manifestaciones que pueden considerarse vitales.

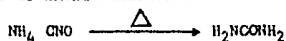
En este trabajo se hará una muy breve revisión de los aspectos más importantes de las etapas arriba mencionadas, las cuales constituyen el enfoque experimental del problema del Origen de la vida.

(6) M.G. Ritten (1968), Aspectos Geológicos del Origen de la Vida sobre la Tierra, Ed. Alhambra, Madrid, pp. 9-24.

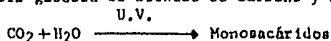
(7) M.G. Ritten (1971), The Origin of Life by Natural Causes, Ed. Elsevier, Bruselas, pp 9-26.

2. SINTESIS DE BIOMONOMEROS.

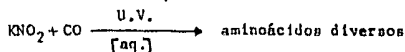
Los antecedentes de la síntesis de compuestos orgánicos de significación biológica se encuentran, desde luego, en el siglo pasado, comenzando por la elaboración de la urea lograda por Friedrich Wöhler (1800-1882), en el año de 1828, a partir del cianato de amonio calentado:



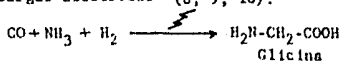
Este resultado fue sin duda un fuerte golpe a las tesis vitalistas, pero no fue definitivo. Poco después, un alumno de Wöhler sintetizó el ácido acético. En 1898, Marcellin Berthelot (1827-1907), obtuvo monosacáridos irradiando con luz ultravioleta (U.V.), una mezcla gaseosa de dióxido de carbono y agua:



El año de 1913 se consiguió las síntesis de algunos aminoácidos por parte de Baudisch, que empleó soluciones acuosas de nitrito de potasio y monóxido de carbono, irradiando con luz ultravioleta a la temperatura ambiente:



Mientras tanto, Loeb produjo glicina usando monóxido de carbono, amoníaco y agua en fase gaseosa y con descargas eléctricas: (8, 9, 10).



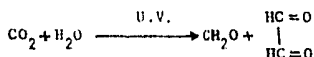
Sin embargo, todos estos trabajos que bien podrían quedar comprendidos como experimentos de biopoyesis no fueron realizados con esa intención.

Los primeros intentos para producir sustancias orgánicas biológicamente importantes con fines de aclarar el origen de los sistemas vivos parece que fue

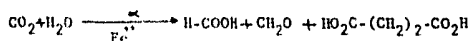
- (8) S.W. FOX y K. DOSE (1972), Molecular Evolution and the Origin of Life, Ed. Freeman, San Francisco, pp. 66-68.
- (9) R. HUVAT (1974), L'Origine des Êtres Vivants et des Procédés Biologiques, Ed. Masson et Cie, París, p. 8.
- (10) W. PAPP y J. BABINI (1961), Biología y Medicina del Siglo XIX; en el vol. IX de Aldo HIELI (1961), Panorama General de Historia de la Ciencia, Ed. Espasa-Calpe Argentina, Bs. As. pp. 156-165

ron los de Alfonso L. Herrera (v. supra II, 8.1.), entre 1924 y 1942, y los de Groth y Suess en 1938. (8) Herrera utilizó tiocianato de amonio y formol en medio acuoso y con estos reactivos parece haber producido por lo menos dos aminoácidos, vestigios de polisacáridos y algunos péptidos de peso molecular bajo, así como glóbulos verdosos y pigmentos rojos y amarillos que sin embargo no especificó el autor. Lo interesante de estos experimentos es que fueron ejecutados sin ningún suministro energético y se llevaron a cabo a la temperatura ambiente (11,12).

Groth y Suess sometieron a la acción de los rayos ultravioleta una mezcla gaseosa de dióxido de carbono y vapor de agua, obteniendo formol y glicoxal:



Los primeros experimentos realizados con base en la hipótesis de Oparin-Haldane fueron los de Garrison (13) y su equipo de investigadores, en 1951 y en 1952. El primero de estos experimentos se llevó a cabo en una solución acuosa de dióxido de carbono marcado (^{14}C), los productos fueron: ácido fórmico, formol y ácido succínico:



El segundo experimento consistió en el bombardeo con partículas alfa de una solución acuosa de formol. De esta manera se obtuvieron varios ácidos grasos como el acético, el succínico, el malónico y el málico (14).

(11) A.L. Herrera (1924). Biología y Plasmo-genia, Ed. Herrero México

(12) A.L. Herrera (1942), Science, 26, (2479), 14.

(13) W.M. Garrison D.C. Morrison, et al. (1951), Science, 114 (2964), 416-418.

(14) W.M. Garrison, D.C. Morrison, et al. (1952), J. Am. Chem. Soc., 74, 4216.

2.1. SINTESIS DE AMINOACIDOS.

Sin lugar a dudas la etapa experimental sobre la evolución química fue realmente iniciada por el trabajo de Harold Urey y Stanley L. Miller. En 1953 Miller publicó un informe preliminar de sus experimentos con mezclas gaseosas anoxigénicas (6,7) y descargas eléctricas. Estas experiencias estuvieron basadas en la hipótesis de Oparin (4,5) y Haldane (15) (v. supra, II, 8.2. y 8.3.), y en las ideas de Urey (maestro de Miller), acerca de la formación de la Tierra y de su atmósfera (16), en el sentido de que nuestro planeta se integró por la condensación de material interestelar frío (polvo, gases y sólidos de diversos tamaños).

El experimento de Miller es ya clásico (el aparato empleado por él se ilustra en la figura 3, A y B); consistió en someter a descargas eléctricas silenciosas y disruptivas (*) (17,18) (**) una mezcla gaseosa integrada por metano, amoníaco, hidrógeno y vapor de agua, con presiones parciales (en cm. de mercurio), de 20,20 y 10 respectivamente (la cantidad de vapor de agua era indefinida). Los potenciales eléctricos empleados en las descargas fluctuaban entre 15,000 y 60,000 v. Las pruebas se prolongaban hasta una semana y los efluvios resultaron menos efectivos que las descargas con chispa y el total de energía suministrado por este medio fue de 1.5×10^3 - 1.5×10^4 Kcal.

(15) J.H.S. Haldane (1929), Nationalist Annual, 148, en: J.D. Bernal (1967), op. y ed. cit. (3), pp. 242-249.

(16) H.C. Urey (1952), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 38, 351-363.

(*) Según el potencial eléctrico, las descargas eléctricas en medio gaseoso pueden ser afluvios (descargas silenciosas), con potenciales relativamente bajos, y descargas disruptivas (con chispa), con potenciales muy altos (de varios miles de voltios).

(17) S.L. Miller (1953), Science, 117, 528-529.

(18) S.L. Miller (1955), J. Am. Chem. Soc., 77, 2351-2361.

(**) Una simplificación del aparato de Miller y de su experimento se encuentra en C.L. Stong (1970), Sci. Am., 222 (1), 130-139.

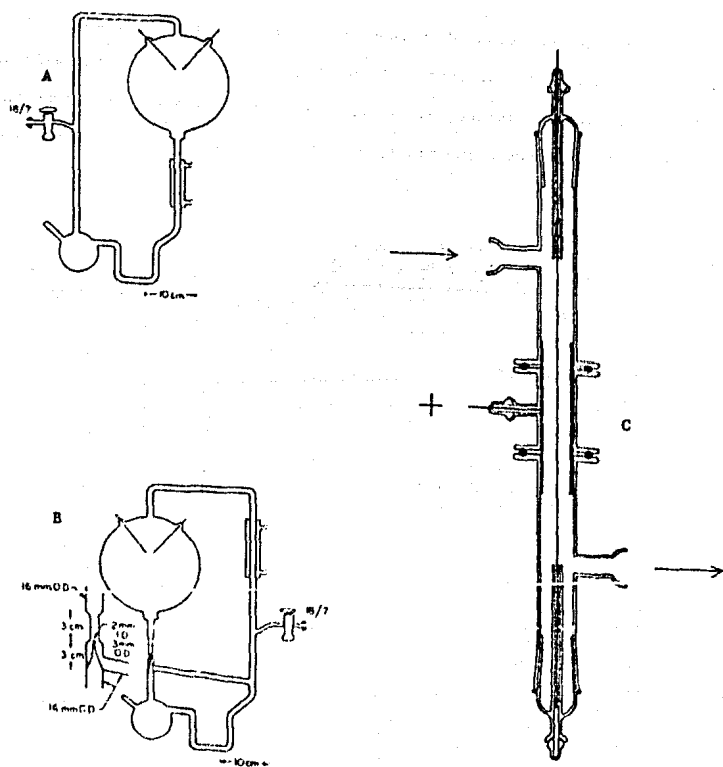


Fig. 3.- Aparatos empleados para producir biomonómeros con mezclas gaseosas - mediante descargas eléctricas. (A) y (B), aparatos empleados por Miller. (C), tubo de descargas usado por Toupance et al. (Tomados de (17,18), y de: Toupance et al. (1974), en: J. Oró, S. L. Miller, C. Ponnampertuna y R. S. Young, Cosmochemical Evolution and the Origins of Life, ed. D. Reidel, Amsterdam, p. 84).

Tomando toda clase de precauciones para evitar una posible contaminación, Miller analizó los productos obtenidos por cromatografía bidimensional en papel y con resinas de intercambio iónico (Dowex y amberlita). Las substancias obtenidas fueron algunos aminoácidos, ácidos grasos, ácido láctico, urea y otros. (ver tabla No.1)

TABLA No. 1.- Productos obtenidos por descargas eléctricas de una mezcla de - CH_4 , NH_3 , H_2O o H_2 (*) (19).

COMPUESTOS	PRODUCTO (μM)	RENDIMIENTO %
Glicina	630	2.1
Acido glicólico	560	1.9
Sarcosina	50	0.25
Alanina	340	1.7
Acido láctico	310	1.6
N-Metilalanina	10	0.07
Acido α -amino-n-butírico	50	0.34
Acido α -aminoisobutírico	1	0.007
Acido α -hidroxibutírico	50	0.34
β -alanina	150	0.76
Acido succínico	40	0.27
Acido Aspártico	4	0.024
Acido Glutámico	6	0.051
Acido iminodiacético	55	0.37
Acido iminoacético-propiónico	15	0.13
Acido fórmico	150	0.51
Acido Propiónico	130	0.66
Urea	20	0.034
N-metil urea	15	0.051

(*) El total de CH_4 agregado fue de 59 μmoles (710 μg). El porcentaje de los productos está basado en el carbono del metano.

Miller realizó sus experimentos variando la proporción de los gases de la mezcla originalmente empleada y en algunos substituyó el amoníaco por nitrógeno (20,21). Los resultados en este caso figuran en la tabla No. 2.

- (19) S.L. Miller y L.E. Orgel (1974), The Origins of Life on the Earth, Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, Nueva Jersey, p. 85.
- (20) S.L. Miller (1957), Biochim. Biophys. Acta, **23**, 480-489.
- (21) S.L. Miller (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pansynskii, et al. (1959), The Origin of Life on the Earth, ed. Pergamon Press, Londres, pp. 123-135.

TABLA No.2.- Productos obtenidos por descargas eléctricas en una mezcla de - - -
 CH_4 , N_2 , H_2O e H_2 .(*) (21).

COMPUESTO	PRODUCTO (μM)
Glicina	142
Alanina	10
Sarcosina	15
β -alanina	70
Acido α aminobutírico	-
N-Metil Alanina	-
Acido Aspártico	3
Acido glutámico	5
Acido iminodiacético	39
Acido iminoacético-propiónico	-
Acido Fórmico	1350
Acido Acético	410
Acido propiónico	220
Acido glicólico	320
Acido láctico	15
Acido α -hidroxibutírico	-
Acido succínico	20
Urea	20
Metilurea	5

(*) El Porcentaje de la glicina obtenida está basado en la cantidad de carbono agregado como metano.

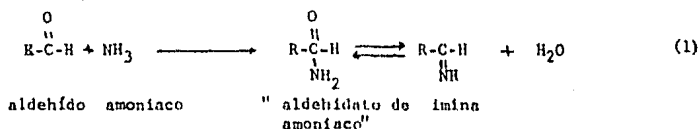
Los porcentajes obtenidos en general, fueron: 15% en los experimentos con descargas eléctricas disruptivas (con chispa), 3% en los realizados por efluvios (descargas silenciosas) y de 8% para aquéllos efectuados con Nitrógeno (N_2) en vez de amoníaco (NH_3).

También fueron detectados por el análisis de los distintos productos, otros de menor importancia biológica pero de interés para la evolución química, tales fueron variadas cantidades de cianuro de hidrógeno (HCN), formol (CH_2O) y otros aldehidos, alcoholes, aminas, ácidos volátiles, acrilonitrilo ($CH=CH-CN$), otros nitrilos y algunos polímeros no identificados (18,20,21), pero no se encontraron derivados aromáticos como bases púricas o pirimidicas, ni aminoácidos bencénicos (fenil alanina, tirosina, triptofano, etc.).

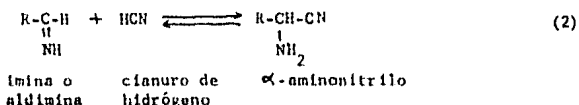
En 1955 Miller sugirió que el proceso de síntesis en sus experimentos su-

cede en dos etapas; una, en fase gaseosa que produce moléculas reactivas con el cianuro de hidrógeno (HCN), aldehidos, alcoholes, aminas y nitritos; la otra, en solución acuosa, por un proceso de hidrólisis de los compuestos anteriores con la consiguiente formación de aminoácidos, hidroxifácidos, algunos ácidos alifáticos y parte de algunos polímeros, etc. También señaló el autor que todas las sustancias producidas partieron de la fase gaseosa mediante reacciones de radicales libres e iones formados por las descargas eléctricas (18, 20, 21).

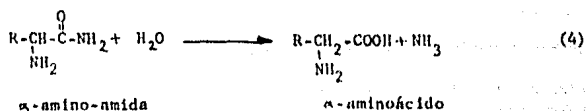
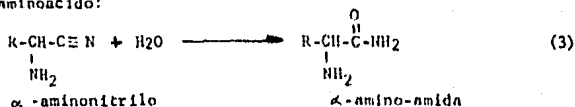
La detección del ácido cianhídrico (HCN) y del formol o aldehído fórmico, permitió sugerir que el mecanismo químico involucrado en la síntesis de aminoácidos es el de Strecker. Acorde con este mecanismo de reacción el aldehído reacciona con el amoníaco para formar una imina y agua:



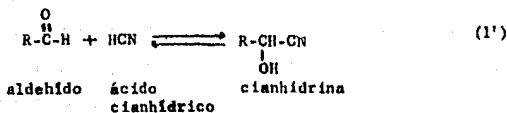
Luego la imina reacciona con el cianuro de hidrógeno en una típica reacción de adición formándose un α -aminonitrilo



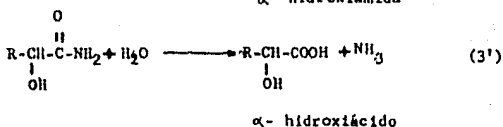
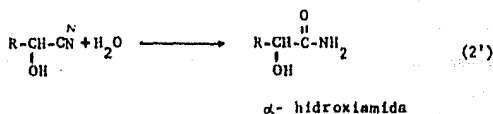
Finalmente el α -aminonitrilo se hidroliza, primero se integra una amida y luego hasta un aminoácido:



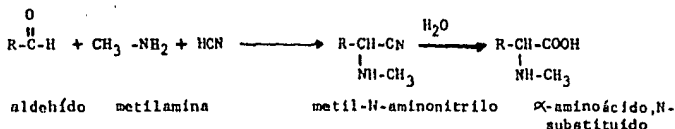
De manera muy similar se forman los hidroxiácidos; primeramente reaccionan el aldehído y el ácido cianhídrico:



a continuación por hidrólisis:

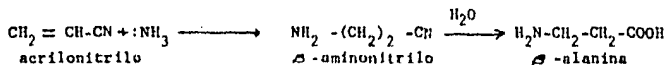


Los mecanismos anteriores explicarían también la síntesis de aminoácidos N-sustituidos:



Este sería el caso de la N-metil alanina y otros aminoácidos que no se encuentran presentes en las proteínas actuales de los seres vivos.

La síntesis de β -alanina parece deberse a una adición de Michael (22) (*)



Otro mecanismo propuesto al de la síntesis de Strecker fue el sugerido -

(22) D.H. Kanyon y G. Steinman (1969), Biochemical Predestination, Ed. Mc GrawHill, Nueva York, p. 128

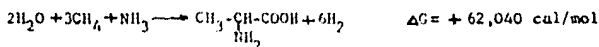
(*) Para detalles de este tipo de reacciones de adición véase: R.T. Morrison y R.N. Boyd (1976), Química Orgánica, Ed. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá pp. 895-897.

por Franck (1960) consistente en reacciones con radicales libres, como metilo vía metanol (22), a los que me referiré más adelante.

Los experimentos de Miller (1953 y 1955) verdaderamente despertaron un gran interés y entusiasmo entre muchos científicos, sobre todo por la sencillez y el éxito que lograron. Muy pronto se desarrolló una verdadera fiebre de experimentos con mezclas gaseosas y otros medios. Actualmente los informes publicados en esta área de la evolución química rebasan fácilmente los dos mil. Por esta razón en la tabla No.3, se resumen algunos de los trabajos experimentales más importantes realizados, especialmente a partir de 1953.

En las tablas Nos. 1 y 2, se observa que los aminoácidos obtenidos por Miller son, en general, los más simples y solamente cuatro (glicina, alanina, ácido aspártico y ácido glutámico) se encuentran en las proteínas naturales. Los ácidos succínico, láctico, glicólico, propiónico y fórmico también tienen importancia biológica, al igual que la urea. Los demás compuestos obtenidos no presentan interés biológicamente hablando, pero sí lo tienen desde el punto de vista de la evolución química (v. infra).

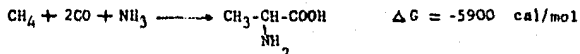
En sus primeros trabajos Miller fue incapaz de producir aminoácidos más complejos de interés bioquímico; esto se debió a que empleó una atmósfera demasiado reductora, con hidrógeno molecular, lo cual fue puesto de relieve por Pavlovskaya y Pasyanski (23), sobre cálculos termodinámicos; por ejemplo: la formación de una mol de alanina a partir de una mezcla gaseosa de metano, amoníaco y vapor de agua:



Como puede verse, la reacción produce hidrógeno que se suma al ya existente en la mezcla gaseosa inicial lo cual se traduce en un enorme consumo de e-

(23) T.E. Pavlovskaya y Pasyanski (1959), "The Original formation of amino acids under the action of Ultraviolet rays and electric discharges", en A.I. Oparin, A.G. Pasyanski edn. (1959), The Origin of life on the Earth, Ed. Pergamon Press, Londres, pp. 151-157.

nergía libre para remontar la barrera termodinámica que significa el exceso de este gas. Si en cambio se plantea la reacción:



se nota que el proceso se facilita enormemente pues los requerimientos energéticos son muy inferiores; el proceso es espontáneo (23).

Lo anterior significaba que no era necesaria una atmósfera con hidrógeno libre para la síntesis de aminoácidos, cosa que demostraron experimentalmente Pavlovskaya y Pasynskii utilizando descargas eléctricas y radiaciones ultravioleta (U.V.). De este modo pudieron obtener lisina además de los aminoácidos - que pudo producir Miller, es decir, no sólo pudieron aumentar el número de aminoácidos sino también el peso molecular de los mismos y su complejidad.

Los resultados anteriores avalaron la creencia de una atmósfera primitiva realmente pobre en hidrógeno y no como postulaba la hipótesis original de Urey (24, 25, 26, 27, 28).

- (24) W.W. Rubey (1951), Geol. Soc. Am. Bull., 62, 1111-1112 (resumen, publ. en: K.A. Kvenvolden (1974), Geochemistry and the Origin of Life, Ed. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, Penn, pp. 169-170.
- (25) W.W. Rubey (1955), en: A. Poldervaart, ed. (1955), Crust of the Earth, Geol. Soc. Am., Nueva York, pp. 631-650.
- (26) H.D. Holland (1962), en: Petrological Studies, Volume to Honor A.F. Buddington, Geol. Soc. Am., Nueva York, 447-477; reproducido en K.A. Kvenvolden (1974) op. y ed. cit. (24), pp. 210-240.
- (27) L.V. Berkner y L.C. Marshall (1964), Jour. Atmos. Sci., 22, 225.
- (28) P.H. Abelson (1966), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 55, 1365-1372.

TABLA No. 3.- Resumen de los principales resultados obtenidos hasta 1977 en experimentos de evolución química.
 (BIOMONOMEROS) (*)

AUTOR	AÑO	MEZCLA INICIAL	T°	FASE	FUENTE DE ENERGIA.	PRODUCTOS DETECTADOS
Barthelot	1898	CO ₂ , H ₂ O	amb.	gas	U.V.	glúcidos.
Baudish	1913	KNO ₂ , CO	amb.	acuosa	U.V.	aminoácidos.
Loeb	1913	CO, NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas	efluvio	glicina
Garrison	1951	CO ₂ , H ₂ O	amb.	gas	λ	ácido fórmico, formol.
Garrison	1953	ácido acético	amb.	acuosa	λ	ác. malónico, málico, succínico, cítrico.
Miller	1953	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ , H ₂ O	amb.	gas + acuosa	descarga disruptiva efluvio.	gly, ala, ser, β ala, N-metil ala, asp, glu, hidroxiácidos, urea.
Bahadur	1954	formol, KNO ₂	amb.	acuosa + Fe ²⁺ ó MoO ₃	solar	16 aminoácidos.
Fox	1955	fumarato y malato NH ₄ ⁺	200°C	fundido	descarga disruptiva	asp, ala.
Abelson	1956	CO, N ₂ ó NH ₃ , H ₂ , H ₂ O	amb.	gas	descarga disruptiva	ala, β ala, gly, sarcosina.
Hasselstrom	1956	C ₂ CO ₃ , (NH ₄) ₂ CO ₃	amb.	acuosa	β	ac. axálico.
		CH ₃ COONH ₄	amb.	acuosa	β	gly, asp.
Dese	1957	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O, H ₂	amb.	gas	X, γ	aminoácidos.
Groth	1957	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	55°C	gas + acuosa	U.V.	gly, ala.
Heyns	1957	CO ₂ , CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O, H ₂	amb.	gas	λ < 200 Å	tícuras, no cisteína
Heyns	1957	H ₂ S, N ₂	~ 200°C	en seco	U.V.	ala, asp.
Ellenbogen	1958	glycina	amb.	gas + acuosa	U.V.	phe, met, val.
Oré	1959	CH ₄ , FeSO ₃ , NH ₄ Cl	90°C	acuosa		gly, ala, asp, β ala, ser, thr, ac. láctico.
		formol, NH ₃ OH Cl				
Pavlovskaya y Pasinskií	1959	CH ₄ , CO, NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas	efluvio	id. Miller + lisina.
Pavlovskaya y Pasinskií	1959	formol + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ Cl	amb.	acuosa	U.V.	ser, gly, glu, ala, val.
Terenin	1959	CH ₄ , CO, NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas + aluminosilicatos.	U.V.	phe, ileu. ala, β ala.

Franck	1960	CH ₃ OH, NH ₃ , H ₂ O isooctano,	amb.	gas	efluvio	aminoácidos
Berger	1961	NH ₃ , H ₂ O	77°K	sólido	β	acetamida, urea, acetona
Fox, Harada	1961	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O.	120°C	acuosa		uracilo
		ác. málico, urea, polifosfa- tos.	70°C	acuosa		gly, ala, asp.
Oró	1961	HCN, NH ₃	amb.	gas	β	adenina
Palm, Calvin	1961	CH ₄ , etc.	amb.	gas	γ	ácidos grasos
Stoop	1961	CO ₂ , C ₂ H ₄	amb.	gas	β	gly, ala, asp. urea. ác.
Palm, Calvin	1962	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O. H ₂	amb.	gas		grasos.
Low	1963	HCN, NH ₃	90°C	acuosa		ala, gly, ser, thr, β-ala leu, ileu, asp, glu, urea, purinas, péptidos. ác. grasos.
						id. Miller. leu. val.
Oró	1963	etano....	amb.	gas	descarga disruptiva	guanina, xantina, uraci- lo
Oró	1963	acrilonitrilo, H ₂ ClN, urea	130°C	acuosa		adenina, guanina, urea
Ponnamperuma	1963	HCN, H ₂ O	amb.	acuosa	U.V.	aminoácidos.
Harada, Fox	1964	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	1 000°C	gas, silica tos		hidrocarburos.
Ponnamperuma	1964	metano	amb.	gas	efluvio	aminoácidos.
Oró	1965	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	1 300 °C	gas		gly, ala, asp.
Oró	1965	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	70° K	sólido	β	gly, ala. asp.
Oró	1965	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas	β	tetrafenilporfirina.
Szutka <i>et al.</i>	1965	pirrol, benzaldehido	amb.	acuosa	espontánea o U.V.	
Ponnamperuma	1966	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas	β	HCH, formol.
Allen, <i>et al.</i>	1966	CH ₄ , H ₂ O	amb.	gas	efluvio	ác. monocarboxílicos (C ₂ -C ₁₂)
Ponnamperuma <i>et al.</i>	1966	CH ₄	amb.	gas	efluvio	Hidrocarburos alifáticos (principalmente), acicli- cos, mono y policíclicos.
Sánchez <i>et al.</i>	1966	CH ₄ , N ₂	amb.	gas	efluvio	cianoacetileno.

Oró <u>et al.</u>	1966	CH ₄	1 000°C	gel de sílice		Hidrocarburos: aromáticos (1-4 anillos) y alifáticos.
Sánchez	1966	Cianoacetileno, HCN, H ₂ O	100°C	acuosa	f	citosina
Ponnamperuma	1966	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O ó HCN	amb.	gas		adenina, guanina
Sánchez <u>et al.</u>	1966	Cianoacetileno, NH ₃ , HCN	100°C	gas		aminoácidos por hidrólisis de un polímero, excepto: phe, tyr, try
Woeller <u>et al.</u>	1966	CH ₄ , NH ₃	amb.	gas	efluvio	aminonitrilos.
Ponnamperuma y Flores	1966	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	amb.	amb.	U.V.	comp. orgánicos Miller
Abelson	1966	CO, H ₂ , N ₂ , H ₂ O (HCN)	amb.	gas	U.V.	gly, ser, ala, asp, glu.
Ponnamperuma y Woeller	1967	CH ₄ , NH ₃	amb.	gas	arco eléctrico	nitrilos, α-aminonitrilos
Ponnamperuma y Dose	1967	N-acetilglicina, NH ₃	amb.	acuosa	γ, δ	Diglicina, derivados de aminoácidos
Sánchez <u>et al.</u>	1967	HCN, NH ₃	0°C <	acuosa	espontánea ó U.V.	diaminomaleodinitrilo, purinas y aminoácidos
Gabel y Ponnamperuma	1967	formol, alúmina, aluminosilicatos	amb.	acuosa	espontánea	monosacáridos.
Labadie <u>et al.</u>	1967	NH ₄ CN	90°C	acuosa		gli, ala, asp, glu, his, lys, ser, thr, guanidina, urea, glicociamina
Taube <u>et al.</u>	1967	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	800-1100°C	gas		id. Harada y Fox - (1964); además: lys, try.
Wahnefeldt y Fox	1967	polifosfatos inorgánicos, nucleósidos	0-22°C	líquido		mono, di y trifosfatos de nucleósidos.
Dose <u>et al.</u>	1968	sales de NH ₄ ⁺ , ácidos grasos	amb.	acuosa	rayos "X"	aminoácidos homólogos a los ácidos grasos.
Schwartz y Ponnamperuma	1968	Polifosfatos de sodio, NH ₄ ⁺ adenosina	100°C	acuosa		AMP

Steinman <u>et al.</u>	1968	tiocianato de amonio	amb.	acuosa	U.V.	metionina
Ferris <u>et al.</u>	1968	cianoacetileno, cianato	100°C	acuosa		citocina, uracilo.
Sánchez <u>et al.</u>	1968	2-aminoimidazol-5-carbonitrilo + HCN	60-100°C	acuosa		purinas
Lohrman y Orgel	1968	Uridina, hidrogenofosfato inorgánico, cianamida, carbodiimida u otros condensantes	37-65°C	acuosa		UMP
Ferris	1968	Fosfato de cianovinilo, uridina, fosfato inorgánico	60°C	acuosa	U.V. + descargas eléctricas	UMP + Pirofosfato.
Hodgson y Ponnamp _{peruma}	1968	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas		porfirinas
Friedman y Miller	1969	fenilacetileno, H ₂ S, NH ₃ , HCN	22-100°C	acuosa		phe, tyr
Friedman y Miller	1969	NH ₄ CN, acetona	40°C	acuosa	espontánea	val, ile.
Halmann <u>et al.</u>	1969	D-ribosa, ortofosfato, cianamida, cianógeno.	25°C	acuosa		l-fosfato de ribosa.
Dowler <u>et al.</u>	1970	Cianoacetaldehído, cianoacetileno, NH ₃	amb.	acuosa	descargas eléctricas	nicotinonitrilo, nicotinanida.
Fox y Windsor	1970	Formol, NH ₃	185°C	acuosa		gly, ala, asp, glu, ser, pro, val.
Bar-Nun <u>et al.</u>	1970	CH ₄ , etano, NH ₃	amb.	gas	ondas de choque eléctrico	gly, ala, val, leu.
Chadha <u>et al.</u>	1971	CH ₄ , NH ₃	-78°C	gas		NH ₄ CN, acetonitrilo, propionitrilo, aminoacetonitrilo.
Sagan y Khare	1971	CH ₄ , etano, NH ₃ , H ₂ O, H ₂ S	25-90°C	gas	U.V.	gly, ala, ser, cys, thr.
Yang y Oró	1971	CO, NH ₃ , H ₂	210-950°C	gas		adenina, guanina, citosina, urea, biuret, guanil urea melanina.
Stephen-Sherwood <u>et al.</u>	1971	Uracilo, paraformaldehído, hidracina, (NH ₃).	70°C	acuosa		timina

Tompance <u>et al.</u>	1971	CH ₄ , solamente ó CH ₄ , NH ₃ , ó CH ₄ , N ₂ , ó CH ₄ , H ₂ O, ó CH ₄ , H ₂ S, CS ₂	amb.	gas	efluvio	hidrocarburos insaturados; nitrilos (incluyen do HCN); cianógeno; cianacetileno; formol, etanol, metanol, ac. acético, CO ₂ ; metilmercaptano, etanotiol.
Miller <u>et al.</u>	1972	CH ₄ , N ₂ , NH ₃ (vestigios), H ₂ O, H ₂ S ó CH ₃ SH	amb.	gas	descarga - disruptiva	metionina
Harada, y Okavara	1972	acrilonitrilo, benzoilamino- acetonitrilo, NH ₃ líquido, óxido de sodio (catalizador).	amb.	líquido		ácido glutámico (después de hidrólisis).
Ring <u>et al.</u>	1972	CH ₄ , N ₂ , NH ₃ (vestigios), H ₂ O	amb.	gas	descarga disruptiva	aminoácidos hidrofóbicos, α-hidroxiácidos.
Welman <u>et al.</u>	1972	CH ₄ , N ₂ , NH ₃ (vestigios), H ₂ O	amb.	gas	descarga disruptiva	aminoácidos no-proteínicos.
Değani y Halmann	1972	1-fosfato de glucosa ó 6-fosfato de glucosa, Na ₂ HPO ₄ , cianógeno	amb.	acuosa		1,6-difosfato de glucosa.
Fuller <u>et al.</u>	1972	adenina, guanina, hipoxantina, xantina, D-ribosa, sales minerales (Mg ⁺⁺ , Ca ⁺⁺ etc), ~ mar	100°C	acuosa		Adenosina, guanosina, inosina, xantosina.
Bishop <u>et al.</u>	1972	Timidina, Na ₂ HPO ₄ , Na ₄ P ₂ O ₇ , Na ₅ P ₃ O ₁₀ , NH ₄ Cl, Urea.	65°C	hipohidrica		TMP
Krasnovsky y Umrkhina	1972	formol, pirrol, metanol (di- solvente).	100°C	líquido		porfina, ciorina, bacterioclorina
Lawless y Boy- ton	1973	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O.	900-1060°C	gas		ala, gly, β-ala, N-metil β-alanina, ac. succínico, ac. β-amino N-butírico, asp.

Hubbard, <u>et al.</u>	1973	Co, CO ₂ , N ₂ , H ₂ O, alúmina sílice	amb.	gas-sólido	U.V.	H-COOH (princ.), formal.
Yuasa y Ishigami	1974	CH ₄ , NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas	descargas de alta frecuencia.	adonina, guanina, citosina, algunos aminoácidos
Toupance <u>et al.</u>	1974	iden. Toupance <u>et al.</u> (1971)	amb.	gas	efluvio	iden. Toupance et al. (1971), y etano, propano butano, isobutano, butadieno, isobuteno.
Bar-Nun	1974	CH ₄ , C ₂ H ₆ , NH ₃ , H ₂ O	amb.	gas	ondas de choque	gly, ala, val, leu, ile.
Chadha <u>et al.</u>	1974	CH ₄ , NH ₃	amb.	gas	efluvio y arco eléctrico.	alquilaminopropionitrilos, aminoacetnitrilo, N-metilaminoacetnitrilo, 2-aminopropionitrilo, derivados de piridina y pirimidina.
Yuasa y Oró	1974	HCN, H ₂ O, MgO ó MgCO ₃	50°C	acuosa		diaminomaieodinitrilo; gly, ala, asp, adenina, 4-aminoimidazol 5-carboxianidina.
Zeitman <u>et al.</u>	1974	CH ₄ , N ₂ , NH ₄ Cl	amb.	gas-líquido	descarga eléctrica	ác. oxálico, ác. malónico, ác. succínico, ác. fumárico, ác. glutárico, ác. adipico.
Hubbard <u>et al.</u>	1975	CO, NH ₃	amb.	gas	U.V.	Cianato de amonio, urea, biurea, semicarbazida del biuret, formamida, HCN.
Negrón-Mendoza y Ponnampereuma	1976	ácido acético	amb.	acuosa		succinato de dimetilo (princ), tricarbilitato de trimetilo, ésteres máfilicos de los ácidos: malónico, β-hidroxi β-metil glutárico, aconítico, cítrico, isocítrico y 1,2,3,4-butanotetracarboxílicos.

Sokolskaya	1976	formol, hidroxilamina	amb.	acuosa	ondas de choque	glicina, alanina.
Sweeny <i>et al.</i>	1976	H ₂ CN	amb.	acuosa	Y	gly, ala, val, ser, thr, asp, glu.
Chittenden y Schwartz	1976	β -alanina, urea	60-90°C	hipohidrica		5, 6-Dihidrocacilo (DHU)
Chittenden y Schwartz	1976	5, 6-dihidrocacilo (DHU), silicatos	amb.	acuosa	U.V.	Uracilo.
Ventilla y Egami	1977	formol, hidroxilamina, Fe ⁺⁺ , Mo ⁺⁺ , Zn ⁺⁺ , Cu ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ , Co ⁺⁺ , y/o kaolín	100°C	acuosa		varios aminoácidos.
Toupance <i>et al.</i>	1977	CH ₄ solamente ó CH ₄ , NH ₃	amb.	gas	U.V.	hidrocarburos saturados e insaturados, nitrilos saturados.
Ivanov y Slavcheva	1977	glicina, MnCO ₃ , Al ₂ O ₃	240°C	sólido		ala, ác. α -aminobutirico, norvalina, norleucina, sarcosina, N-etilglicina, N-metilalanina, N-etilalanina, asp. glu.
Ferrís <i>et al.</i>	1977	H ₂ CN	amb.	acuosa		4, 5-dihidroxipirimidina, 5-hidroxiuracilo.
Choughuley <i>et al.</i>	1977	Uracilo, ác. fórmico, formol ó, 5 hidroximetiluracilo (HMU), ác. fórmico	100-140°C	acuosa		timina
Draganic <i>et al.</i>	1977	H ₂ CN, NH ₄ CN, NaCN	amb.	acuosa	Y	asp, ser, gly, glu, ala, ác. α -aminobutirico, β -alanina, ác. β -metil aspártico, metilamina, urea.
Schwartz y Chittenden	1977	β -alanina, urea, minerales arcillosos (montmorillonita) + acetato	40°C	hipohidrica	U.V.	Uracilo, timina.

(*) La presente tabla es una ampliación de la reproducida por R. Buvet (9), que abarca hasta 1965.

Abreviaturas. - id., idéntico(a); princ., principalmente; ala, alanina; asp., ácido aspártico; Cys, cisteína; glu, ácido glutámico; gly, glicina; his, histidina; ile, isoleucina; leu, leucina; lys, lisina; met, metionina; pha, fenilalanina; ser, serina; thr, treonina; try, triptofano; tyr, tirosina; val, valina; U.V., luz ultravioleta; α , radiación alfa; β , radiación beta; γ , radiación gama; λ , rayos "X"; λ , longitud de onda de la radiación empleada; AMP, monofosfato de adenosina; TMP, monofosfato de timidina; UMP, monofosfato de uridina.

En virtud de lo anterior, Urey y Miller revisaron la hipótesis original sobre la cual se basaron los primeros experimentos y señalaron la plausibilidad de una atmósfera primitiva terrestre con presiones parciales bajas de hidrógeno y amoníaco, (°) y moderadas de metano y de nitrógeno elemental. En cuanto al monóxido y al dióxido de carbono, Urey y Miller proponen que se encuentran en baja proporción respecto a los demás componentes (29).

La Tabla No. 3, muestra la gran diversidad de mezclas, fuentes de energía y condiciones fisicoquímicas empleadas para producir aminoácidos lo que muestra la relativa facilidad para obtenerlos.

En la actualidad se han podido sintetizar 17 aminoácidos del código genético (aparte de los ausentes en las proteínas naturales), por estos métodos (30).

Los experimentos de Garrison et al., no produjeron aminoácidos porque no se utilizaron fuentes de nitrógeno y los reactivos empleados estaban en su máximo grado de oxidación (CO_2 y H_2O). De esto se infiere que las atmósferas simuladas para síntesis prebiótica de compuestos de significado biológico, no deben ser ni demasiado reductoras ni demasiado oxidantes (la presencia de oxígeno libre impide cualquier síntesis orgánica en estos ensayos experimentales).

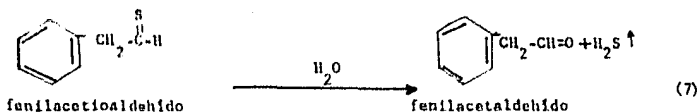
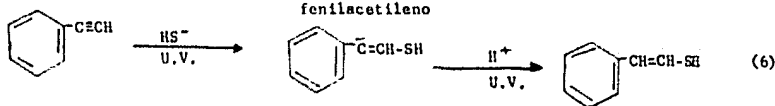
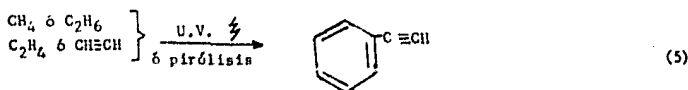
a) Por otra parte, la adición de ácido sulfhídrico o sulfuro de hidrógeno

(°) Urey y Miller suponen que el amoníaco estaría más bien disuelto en el océano debido a su alta solubilidad en agua.

(29) S.L. Miller y H.C. Urey (1959), Science, 130, 245-251.

(30) S.L. Miller (1974), Origins of life, 5, 139-151

geno a los reactivos mejora considerablemente el rendimiento de las reacciones, y aumenta la variedad de aminoácidos y otras sustancias obtenidas (9), especialmente cuando se emplea la luz ultravioleta como fuente energética. En este sentido son bastante ilustrativos los trabajos de Sagan y Khare (31,32), Friedman y Miller (33, 34) y de Hong et al. (35,36). De estos trabajos se derivan rasgos muy importantes de los compuestos sulfurados para la química prebiótica. En primer término, Friedman y Miller notaron que la fenilalanina puede obtenerse a partir del fenilacetileno en presencia de H_2S , que funge como catalizador. El fenilacetileno, por otra parte, puede sintetizarse por descargas eléctricas o por luz ultravioleta en una atmósfera de metano, etano, etileno o acetileno, aunque es más eficaz la pirólisis (calentamiento a temperaturas superiores a $1000^\circ C$) (19, 33,34). El mecanismo propuesto para la síntesis de fenilacetileno y de fenilalanina es el siguiente:



(31) C. Sagan y B.N. Khare (1971), Science, **173**, 417-420.

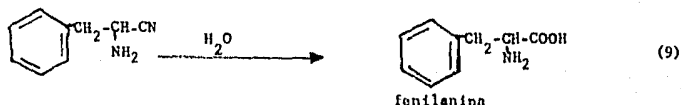
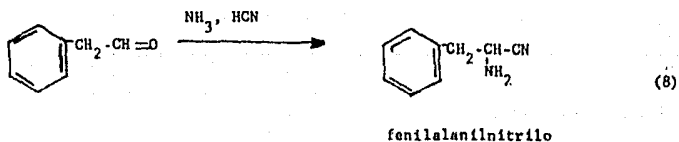
(32) B.N. Khare y C. Sagan (1973), en: M. Gordon y L. Snyder (1973), Molecules in the galactic environment, Ed. Wiley-Interscience, Nueva York, pp. 399-407.

(33) N. Friedman y S.L. Miller (1969), Science, **166**, 766-767.

(34) N. Friedman et al. (1971), en: R. Buvet y C. Ponnampetuma, ed. (1971), Chemical evolution and the origin of life Ed. North-Holland, Amsterdam, p. 123-135.

(35) K. Hong, J. Hong, et al. (1974), Science, **184**, 984-987.

(36) R.S. Becker, K. Hong, y J.H. Hong (1974), J. Mol. Evol., **4**, 157-172.



La ecuación (6) ilustra el influjo de la radiación ultra-violeta en el proceso de activación; las ecuaciones (8) y (9) muestran un ejemplo típico de síntesis de - Strecker (v. supra).

La tirosina se obtuvo después por hidroxilación de la fenilalanina, - también en medio acuoso (ver tabla No. 3).

De lo anterior se desprende que existe una relación directa entre la - capacidad catalítica del H_2S y la luz ultravioleta (U.V.). Asimismo, cabe de - ca - r que el H_2S absorbe la luz U.V. en el rango de 200 nm, lo cual reviste gran - importancia porque, sin lugar a dudas, la fuente de energía más abundante en la Tierra primitiva fue la radiación U.V. que entonces alcanzaba plenamente la super - ficie del planeta debido a que la atmósfera carecía de la barrera de ozono con la que cuenta en la actualidad.

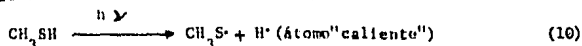
Por otra parte, la mayoría de los gases empleados en los experimentos de simulación de las condiciones prebióticas, absorben las radiaciones por debajo de los 200 nm. ($\text{CH}_4=145\text{nm}$, $\text{CO}=154.5\text{nm}$, $\text{H}_2\text{O}=185\text{nm}$, $\text{NH}_3=240\text{nm}$) (18). A esto se aña - de que la mayor proporción de rayos ultravioletas provenientes del sol son superio - res a ese valor (tabla No. 4).

De acuerdo con esto, el porcentaje de luz U.V. aprovechable inferior a una longitud de onda de 200 nm (2000 \AA) es sumamente bajo.

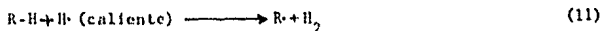
TABLA No. 4.- Promedio de las Fuentes de Energía Actuales Sobre la Tierra (37).

FUENTE	ENERGIA (cal. cm ⁻² año ⁻¹)
Radiación total del sol	260,000
Luz ultravioleta :	
<3000 Å	3,400
<2500 Å	563
<2000 Å	41
<1500 Å	1.7
Descargas eléctricas	4
Rayos cósmicos	0.0015
Radiactividad (a 1 Km. de profundidad)	0.8
Volcanes	0.13
Ondas de choque	1.1
Viento solar	0.2

Es aquí donde radica la importancia probable del H₂S y de otros sulfuros, como se acaba de ver en el caso de la síntesis de fenilalanina. La capacidad catalítica del H₂S radica fundamentalmente en que puede transferir la energía absorbida a otras sustancias que no absorben dicha energía normalmente. Dicho en otros términos, el H₂S es un donador de átomos de hidrógeno "calientes" (*) por fotólisis; por ejemplo :



El hidrógeno en esas condiciones es capaz de propiciar reacciones como la siguiente:



donde R_· es un radical orgánico cualquiera. R[·] es un radical libre que, a su vez, promueve otras reacciones que de otro modo resultaría difícil su realización.

(37) S.L. Miller, H.C. Urey, y J. Oró (1976), *J. Mol. Evol.*, 2, 59-72.

(*) Se llama así a aquellos átomos de hidrógeno que tienen una energía cinética superior a la que tendrían en el equilibrio térmico con su ambiente (35).

Mediante mecanismos como los anteriores, usando mezclas de etano (C_2H_6), amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S) y agua líquida (31,32) o de metano (CH_4), amoníaco, ácido sulfhídrico o metilmercaptano (CH_3SH) y agua (35,36) en presencia de radiaciones U.V., se pudieron obtener diversos aminoácidos como: glicina, alanina, serina, cisteína, ácido aspártico, ácido glutámico (31,32), leucina, isoleucina, prolina, valina, treonina y otros productos (ácidos carboxílicos, etc) (35,36).

Estos resultados y el hallazgo del H_2S y algunos sulfuros "raros" en el espacio interestelar y en los meteoritos, están reclamando un mayor interés hacia el papel que puede jugar el azufre, y en especial los sulfuros, en la evolución química (38).

Ultimamente han despertado interés las ondas de choque (vibración ultrasónica, cavitación, etc), como fuentes energéticas en relación con la síntesis prebiótica de compuestos de relevancia biológica. En este terreno, los mismos experimentos con descargas eléctricas disruptivas son, en parte, un ejemplo de este tipo de procesos. Los primeros trabajos sobre este campo fueron hechos por Hochstím y Gilvarry (39,40), relacionados con los meteoritos y los efectos del choque de éstos con la atmósfera y con la superficie terrestre, pero en esta década es cuando han proliferado los estudios más detallados y los experimentos sobre estas fuentes de energía y su papel en la evolución química.

Según Hochstím (41), las ondas de choque pueden ser producidas por los siguientes fenómenos:

A gran altitud: 1.- micrometeoritos y meteoros cometarios.
2.- meteoritos.

A baja altitud: 1.- meteoritos.
2.- rayos y relámpagos.
3.- erupciones bruscas de los volcanes en la atmósfera.

(38) F. Raulín y G. Toupance (1977), J. Mol. Evol., **9**, 329-338.

(39) A.R. Hochstím (1963), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S. **50**, 200-208.

(40) J.J. Gilvarry y A.R. Hochstím (1963), Nature, **197**, 624-625.

(41) A.R. Hochstím (1971), en: R. Buvet y C. Ponnamperuma eds. (1971), op. y ed. cit. (34). pp. 96-13.

A un régimen de altas presiones:

- 1.- choque de meteoritos con el agua (con un radio mayor de 1m).
- 2.- choque de meteoritos con la tierra acompañado de explosión ($R > 1m$).
- 3.- Presencia de cavitación en el agua debida a la acción de las olas superficiales en el océano.
- 4.- Ondas de choque en la tierra (resultantes de impactos meteorí-
ticos, olas cortadas bruscamente en las rocas costeras, terremotos y paso a tra-
vés de burbujas de gases atrapados en las rocas). Todos estos procesos tienen co-
mo característica común un súbito calentamiento acompañado de un brusco enfriamien-
to; además, enormes diferencias de presión.

Siguiendo esta línea de investigación, A. Bar-Nun, Bauer y Sagan (42,43) realizaron la síntesis de algunos aminoácidos, como glicina, alanina, valina y leu-
cina (ver tabla No. 3). Calcularon estos investigadores que la temperatura en el
dispositivo empleado para generar las ondas de choque alcanzó entre 2 000 y 4 000° K
y se estima que las fuentes naturales de las mismas alcanzan temperaturas 3 ó 4 ve-
ces mayores. En general, los aparatos empleados se basan en el que originalmente
usó Hochstim (1963), el cual consta básicamente de un tubo de bronce unido a otro
de vidrio, separados por un diafragma metálico (de aluminio o de alguna aleación).
La cámara formada por el tubo de bronce es llenada con algún gas inerte, compri-
miéndolo hasta que la presión revienta bruscamente el diafragma (el espesor de
éste es de unos 76.2 μ m). La onda de choque así generada se refleja en el otro -
extremo del tubo, ocasionando otra onda de compresión que eleva aún más la temperatu-
ra (2000 - 4000 °K) suministrando así calor adicional. Todo esto sucede en un tiempo
del orden de 10^{-5} seg.

(42) A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, et al. (1970), Science, 168, 470-472.

(43) A. Bar-Nun, N. Bar-Nun, et al. (1971), en: R. Buvet, y C. Ponnamparuma, eds.
(1971), op. y ed. cit. pp. 114-122.

Después de reflejada la onda se presenta un período de dispersión que se caracteriza por una caída súbita de la temperatura y de la presión, con una velocidad de enfriamiento de 0.5×10^6 °K/seg. (42,43). Ahora bien, como en la cámara del tubo de vidrio del aparato descrito se colocan mezclas de gases tales como metano, etano, amoníaco, es de esperar que se produzcan diversas reacciones propiciadas por la energía de las ondas de choqua.

Bar-Nun et al, ha calculado que por este medio se pueden producir 5×10^{10} moléculas de aminoácidos por erg absorbido, a diferencia del que puede alcanzarse con la luz ultravioleta de 6×10^6 (42,43). "De este modo -nos dicen Sagan y Khare- parece que las ondas de choque son aproximadamente 10^4 veces más eficientes que la luz ultravioleta para la síntesis orgánica prebiológica" (31). Lo cual compensaría la mayor abundancia de la radiación ultravioleta que es aproximadamente mil veces mayor (véase la tabla No. 4), en la longitud de onda menor de 260 nm. (31).

La ventaja que las ondas de choqua representan sobre la radiación U.V. es que aquella es discontinua y ésta es continua. El flujo continuo de luz U.V. expone constantemente a los compuestos previamente promovidos por ella a su casi inmediata fotólisis a menos que los materiales sintetizados se vean protegidos de esa acción destructiva posterior. Estos inconvenientes no se presentan con las ondas de choqua dada su propia brusca discontinuidad; el mismo enfriamiento repentino preserva, en gran medida, a las sustancias generadas de una ulterior destrucción; además, estos procesos se llevan a cabo en medios muy diversos lo cual aumenta las posibilidades de su viabilidad y asegura su evolución posterior a compuestos más complejos.

Una evaluación muy completa del posible efecto de los truenos producidos por las descargas eléctricas en la atmósfera ha sido hecha por Bar-Nun y -

Tauber (44) y Bar-Nun y Shaviv (45, 46), con base en la cual se han realizado síntesis de aminoácidos (glicina, alanina, valina, leucina e isoleucina) (45,47) a partir de diversas mezclas de gases (CH_4 , C_2H_6 , NH_3 y vapor de H_2O), obteniéndose además ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno (HCN) y aldehídos como el formol (fig. 4). Recientemente, A. Sokolskaya (48) sintetizó glicina y alanina por la acción de ondas ultrasónicas sobre formol e hidroxilamina.

Directamente relacionados con lo anterior, son los experimentos ejecutados por Park, Hochstim y Ponnamparuma (49). Estos investigadores lograron la producción de aminoácidos y de sólidos poliméricos insolubles, cuya estructura química aún se desconoce, por medio de descargas eléctricas sobre la superficie del agua (reacciones "apagadas"), que además de generar iones por la misma descarga, produce ondas de choque por la elevación brusca de la temperatura y el violento encuentro con la superficie fría del agua (o bien de una superficie sólida). La síntesis de substancias orgánicas por este método (ver fig. 5) es muy rápida y de alto rendimiento (mayor que las descargas "vacías", en fase gaseosa exclusivamente).

2.1a. MECANISMOS DE SÍNTESIS DE LOS AMINOÁCIDOS COMPLEJOS Y ALTERNATIVAS AL MECANISMO DE STRECKER.

Se ha visto que la formación de algunos aminoácidos se puede explicar por el mecanismo de síntesis de Strecker, el cual implica la formación de aminonitrilos por medio de un aldehído y el HCN; a su vez, por hidrólisis producen los

(44) A. Bar-Nun y M.E. Tauber (1972), Space Life Sci. **3**, 254-259.

(45) A. Shaviv y A. Bar-Nun (1974) en: K. Dose, S.W. Fox et al. eds. (1974), The Origin of life and Evolutionary Biochemistry, Ed. Plenum Press, Nueva York, p. 445-458.

(46) A. Bar-Nun y A. Shaviv (1975), Icarus, **24**, 197-210.

(47) A. Bar-Nun (1974), en: J. Oró, S.L. Miller, et al. eds. (1974), Cosmochemical Evolution and the Origin of life, Ed. Reidel, Dordrecht, vol.2, pp 109-115.

(48) A. Sokolskaya (1976), Origins of Life, **7**, 183-185.

(49) W.K. Park, A.R. Hochstim y C. Ponnamparuma (1974), en: J.Oró, S.L. Miller, et al., op y ed. cit. (47). pp. 99-107.

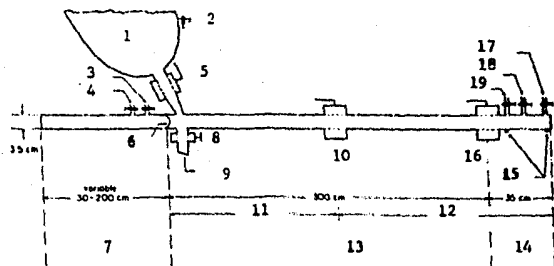


Fig. 4. - Diagrama esquemático de un tubo para producir sustancias orgánicas por medio de ondas de choque. (Tomado de: A. Bar-Nun (47).

- 1) Tanque de descarga. 2) Al argón y al manómetro. 3) A la línea de vacío.
- 4) Helio a alta presión. 5) Llave de paso del tanque. 6) Diafragma. 7) Sección de mando. 8) Válvula A. 9) A la estación de bombeo y manejo del sistema gaseoso. 10) Llave de paso. 11) Sección uno. 12) Sección dos. 13) Zona de reacción. 14) Extremo terminal. 15) Transductores de presión. 16) Llave de paso. 17) Al bulbo colector del producto. 18) Al reservorio de agua. 19) Al manómetro.

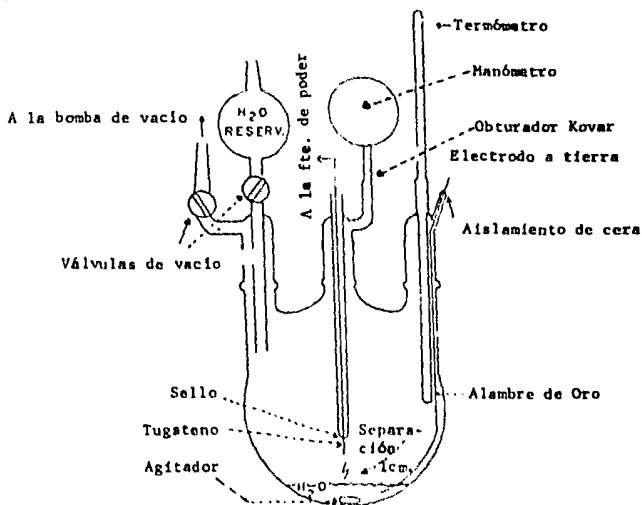
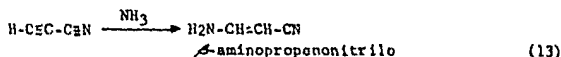
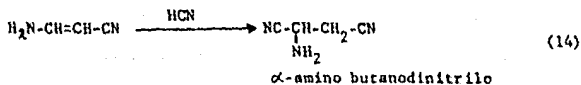


Fig. 5. - Diagrama de un aparato de descarga húmeda para producir biomoléculas. (Tomado de: W. K. Park, A. R. Hochstim y C. Ponnampertuma (49).

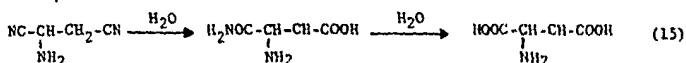
aminoácidos. Empero, las vías que llevan a la producción del aminonitrilo pueden ser varias; hemos visto ya una de ellas (supra). Sánchez, Ferris y Orgel (50) sugieren que el cianoacetileno puede ser un intermediario previo a la formación del nitrilo. Esta substancia se puede producir por descargas eléctricas en mezclas gaseosas como las usadas por Miller en algunos de sus experimentos:



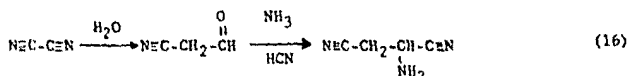
Luego el ácido cianhídrico puede atacar la doble ligadura formando un dinitrilo:



Finalmente, por hidrólisis de éste se obtiene primero asparagina y después ácido aspártico:



Una variante de este mecanismo podría ser la formación, por hidrólisis parcial del cianoacetileno, de cianoacetaldehído:

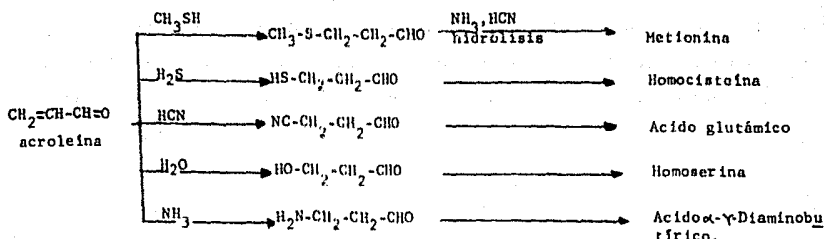


después por reacción con el amoníaco y el ácido cianhídrico se produce el aminodinitrilo, lo cual estaría acorde con una síntesis de Strecker (19).

Por otra parte, Miller (19,30, 51) ha planteado que la acroleína puede ser el intermediario en la síntesis de varios aminoácidos, especialmente los azufrados.

(50) R.A. Sánchez, J.P. Ferris y L.E. Orgel (1966). Science, 154, 784-785.
 (51) J.E. Van Trump y S.L. Miller (1972), Science, 178, 859-860.

El siguiente esquema ilustra esta idea:



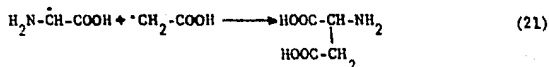
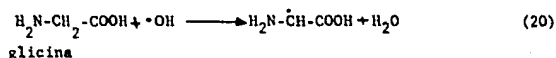
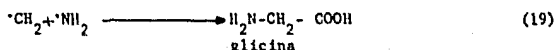
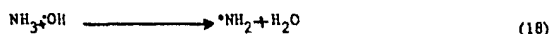
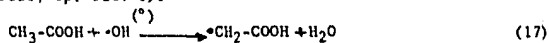
Estas reacciones, ejemplos de la adición de Michael (supra), explicarían la formación de aminoácidos "raros", o sea, no presentes en las proteínas naturales, además de la metionina y el ácido glutámico. En este caso se trataría también de un mecanismo del tipo de Strecker.

La acroleína puede producirse fácilmente por la acción de descargas eléctricas en una atmósfera de metano y vapor de agua o por la reacción directa entre el formol y el aldehído acético (19, 30, 51).

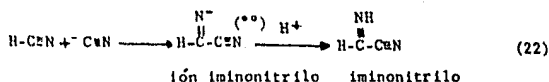
Los experimentos efectuados por Ponnampuruma y Woller (52), han demostrado que la formación de α -aminonitrilo puede realizarse por una vía distinta a la de Strecker. Estas pruebas consistieron en descargas eléctricas sobre metano y amoníaco anhidros; por lo tanto, no se forman aldehídos, que son requeridos para un proceso como el de Strecker (v. tabla No. 3). También demostraron estos científicos que los nitrilos son bastante estables y resisten las descargas eléctricas en estado gaseoso, lo cual tiene gran importancia para su probable transformación a α -aminoácidos después de hidrolizarse.

En el caso de que la generación de aminoácidos se haga por medio de ra-
(52) C. Ponnampuruma y F. Woeller (1967), Curr. Mod. Biol. 1, 156-158.

diciaciones ionizantes (rayos α , β , γ y X), o por radiaciones U.V. de onda corta, los mecanismos propuestos son de reacciones con radicales libres (véase tabla No. 3); por ejemplo, en el experimento de Hasselstrom *et al.* que produjo glicina y ácido aspártico a partir de una solución de acetato de amonio (53) irradiada con rayos β , se tendría el siguiente mecanismo de reacción (tomado de S.W. Fox y K. Dose, *op. cit.* 8):



En el caso de la generación de aminoácidos por polimerización del ácido cianhídrico o algún cianuro en soluciones acuosas por diversas fuentes energéticas (54, 55, 56, 57, 58, 59), se han propuesto, entre otras, esta serie de reacciones (19):



(53) T. Hasselstrom, M.C. Henry y B. Murr (1957), *Science*, 125, 350-351.

(\circ) Los radicales libres $\cdot\text{OH}$ provienen de la radiólisis del agua por efecto de los rayos β o cualquier otro de su tipo.

(54) J. Oró y S.S. Kamat (1961), *Nature*, 190, 442-443.

(55) R.M. Kliss y C.N. Matthews (1962), *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.*, 48, 1300-06.

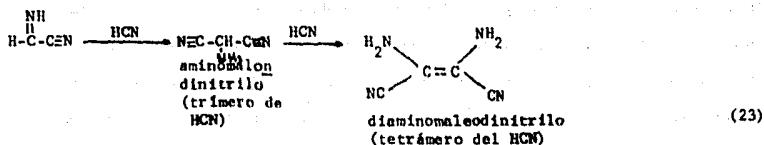
(56) C.U. Lowe, M.W. Rees y R. Markham (1963), *Nature*, 199, 219-222.

(57) M. Labadie, R. Jensen y E. Neuzil (1967), *Bull. Soc. Chim. Biol.*, 49, 673-682.

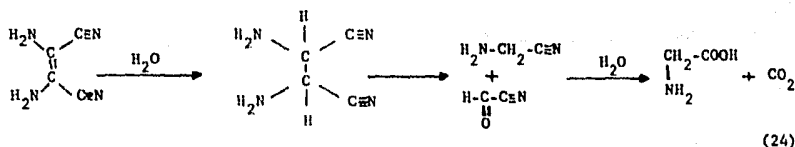
(58) R.A. Sánchez, J.P. Ferris y L.E. Orgel (1967), *J. Mol. Biol.*, 30, 223-253.

(59) J.P. Ferris, D.B. Donnar y A.P. Lobo (1973), *J. Mol. Biol.*, 74, 499-510 y 511-518.

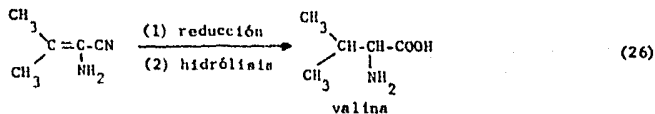
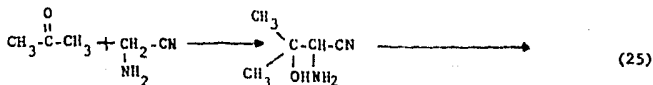
(\circ) En realidad no se está seguro de la estructura verdadera del dímero del HCN.



Tanto el tetrámero como el trímero pueden sufrir hidrólisis y dar glicina, siempre y cuando estos oligómeros estén en solución concentrada:



Un proceso semejante podría ser el de la síntesis de valina e isoleucina, logradas por Friedmann y Miller (60). En esta reacción además del cianuro de amonio, usaron acetona, la que se combina con el aminonitrilo formado:



Si en vez de la acetona la reacción ocurre en presencia de butanona el aminoácido producido será isoleucina (60).

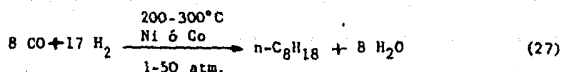
Por último, otra vía planteada de posible síntesis prebiótica de aminoácidos es la del tipo Fischer-Tropsch. Este proceso se emplea para producir hidrocarburos (industrialmente) a partir del monóxido de carbono y el hidrógeno (61) a unos

700°C o más, en presencia de níquel o cobalto como catalizadores y generalmente bajo

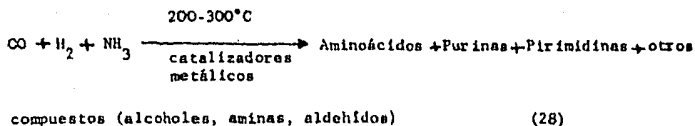
(60) N. Friedman y S. L. Miller (1969), *Nature*, 221, 1152-1153.

(61) L. F. Fieser y M. Fieser (1968), *Química Orgánica*, Ed. Grijalbo, México, p. 129-130.

presión:



Aunque propuesta originalmente como una vía prebiótica probable por Miller (20,21) y Oró (62) en la síntesis de aminoácidos, esta idea ha sido principalmente desarrollada por Anders et al., mas bien como modelo de síntesis orgánica en la nebulosa solar (infra, Cap. V) y para explicar el origen prebiótico de los ácidos grasos y los hidrocarburos que no se producen en otros experimentos bajo condiciones simuladas de la Tierra primitiva (63, 64, 65, 66). Han demostrado estos autores que cuando a la mezcla reactiva se le añade amoníaco se pueden obtener aminoácidos, además de bases nitrogenadas, alcoholes y aldehídos:



Pero esta forma de producir aminoácidos tropieza con graves inconvenientes. En primer lugar, estaría muy restringida a zonas donde las temperaturas fueran suficientes (como las áreas de volcanes en erupción) (37,67). En segundo lugar, los compuestos azufrados, muy comunes en las zonas volcánicas, envenenan los catalizadores. En tercer término, una larga exposición de los productos recién sintetizados, como sería en las condiciones geológicas, produciría la pirólisis de los mismos. Y por último, las altas temperaturas del proceso acabarían por descomponer el amoníaco a nitrógeno e hidrógeno (19).

- (62) J. Oró (1965), en: S.W. Fox ed. (1965), The Origin of prebiological Systems and of their Molecular Matrices, Ed. Academic Press, pp. 137-162.
(63) M.H. Studier, R. Hayatsu y E. Anders (1968), Geochim. Cosmochim. Acta, **32**, 151-173.
(64) R. Hayatsu, M.H. Studier, A. Oda et al. (1968), Geochim. Cosmochim. Acta, **32**, 175-190.
(65) D. Yoshino, R. Hayatsu y E. Anders (1971), Geochim. Cosmochim. Acta, **35**, 927-938.
(66) E. Anders, R. Hayatsu y M.H. Studier (1973), Science, **182**, 781-790.
(67) J. Oró, S.L. Miller y R.C. Urey (1977), en: R. Buvel, M.J. Allen y J.P. Massué (1977), Living Systems as Energy Converters, Ed. North-Holland, Amsterdam; pp. 7-19

Sin embargo, no se descarta la posibilidad de síntesis de aminoácidos a través de una reacción heterodoxa de Fischer-Tropsch, aunque su contribución sería muy secundaria en el proceso de la evolución química. En este sentido son de interés los trabajos recientes de Mukhin (68) y de Markhinin y Podkletnov (69) sobre la producción de compuestos orgánicos y de cianuros en las erupciones volcánicas.

2.2. SÍNTESIS DE BASES NITROGENADAS.

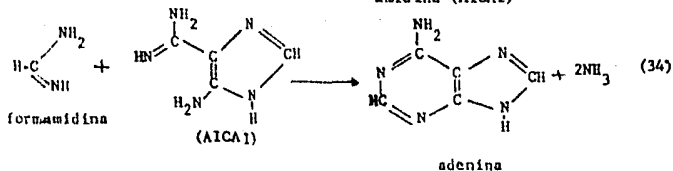
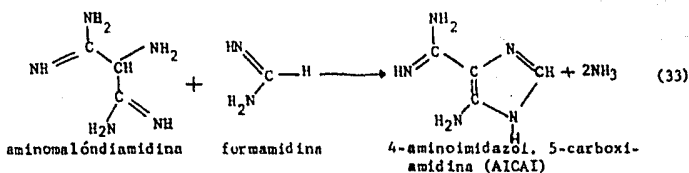
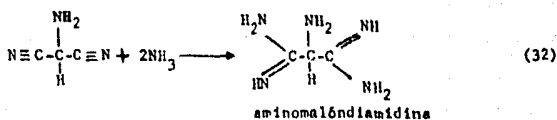
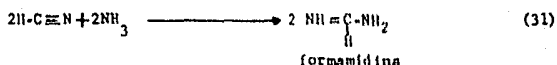
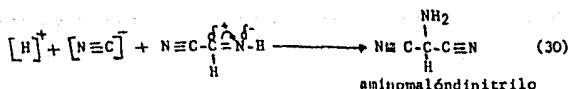
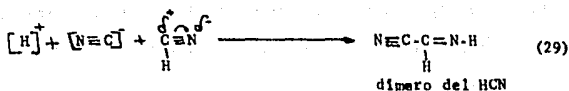
Los principales componentes de los ácidos nucleicos son las bases nitrogenadas, púricas y pirimidicas. Las más importantes son adenina y guanina, y citosina, uracilo y timina.

Viendo la tabla No. 4, se puede observar que proporcionalmente son más numerosas las síntesis de aminoácidos que la de bases nitrogenadas, sobre todo esta diferencia es más notoria entre los aminoácidos y las bases pirimidicas (citosina, uracilo y timina). En sus primeros experimentos Miller fue incapaz de encontrar bases nitrogenadas; esto, como se sabe, se debió fundamentalmente a que empleó una atmósfera demasiado hidrogenada, pero aún más tarde, usando atmósferas menos reductoras fue imposible encontrar esas bases tan importantes desde el punto de vista biológico.

2.2a.- BASES PURICAS.

No fue sino hasta 1960 que Juan Oro pudo sintetizar la adenina a partir de una solución concentrada de cianuro de amonio a 70°C (70). Más tarde el propio Oro propuso el siguiente mecanismo de reacción que explica la formación de la adenina (71, 72, 73) :

- (68) L. Mukhin (1974), Nature, 251.
(69) E.K. Markhinin y N.E. Podkletnov (1977), Origins of Life, 8, 225-235.
(70) J. Oro (1960) Biochim. Biophys. Res. Commun. 2, 407-412.
(71) J. Oro (1961), Nature, 191, 1193-1194.
(72) J. Oro y A.P. Kimball (1961), Arch. Biochem. Biophys. 94, 217-227.
(73) J. Oro y A.P. Kimball (1962), Arch. Biochem. Biophys. 96, 293-313.



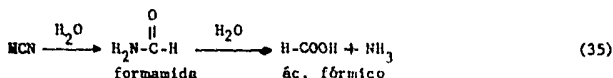
El total de moléculas de HCN (ácido cianhídrico), necesarias para producir una molécula de adenina es de 5. El amoníaco funciona como catalizador. En consecuencia, la adenina es un pentámero del ácido cianhídrico tal como ya lo había señalado, hace cincuenta y cuatro años, Alfonso L. Herrera (11).

En 1963, Lowe *et al.* (56), confirmaron los resultados de Oró y detectaron,

además de la adenina, a la hipoxantina. Ese mismo año Ponnampertuma, Lemmon, Mariner y Calvin reportaron la síntesis de adenina por irradiación β de metano, amoníaco y agua (74) (*).

Sin embargo, el inconveniente que evidenciaban todos estos experimentos era que las concentraciones de los reactivos empleados no podían considerarse como plausibles en el contexto de la evolución química. En efecto, las concentraciones del cianuro de hidrógeno y del hidróxido de amonio usados por Oró, Kimball, Lowe, etc., eran del orden de 1-15M. En rigor, se trataba más bien de síntesis de la química orgánica tradicional que de experimentos en condiciones simuladas de la Tierra en sus primeras etapas de desarrollo.

Cuando se emplean soluciones más diluidas de ácido cianhídrico (<0.01M), que estarían más acordes con los postulados básicos de la evolución prebiótica, son inestables y en vez de realizarse la polimerización del compuesto se lleva a cabo su hidrólisis hasta ácido fórmico:



Sánchez, Ferris y Orgel publicaron en 1966 un reporte preliminar que allanaba el camino para resolver el problema de la concentración de los reactivos, concretamente del cianuro de hidrógeno (75). Plantearon, apoyados en sus experimentos, que era posible la producción de bases púricas (adenina, guanina e hipoxantina), por medio de soluciones acuosas de cianuro, cianato o cianógeno sin necesidad de otro reactivo adicional.

Por otro lado, Sánchez et al., determinaron que la polimerización del cianuro de hidrógeno en medio acuoso se logra a concentraciones superiores a 0.01M, -

(74) C. Ponnampertuma, R.M. Lemmon, R. Mariner y M. Calvin (1963), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 49, 737-740.

(*) En experimentos muy similares, C. Palm y M. Calvin detectaron bases púricas en pequeña proporción (1962, J. AM. Chem. Soc., 84, 2115-2121).

(75) R.A. Sánchez, J.P. Ferris y L.E. Orgel (1966), Science, 153, 72-73.

especialmente a partir de una concentración O.M. Según estos autores, esta concentración puede lograrse a bajas temperaturas (0°C a -23.4°C). Esta última es la temperatura eutéctica de la mezcla HCN- H_2O (mezcla eutéctica). Así pues, conforme se desciende la temperatura de esa mezcla, el hielo se separa de la misma y en la fase líquida restante aumenta progresivamente la concentración del HCN disuelto hasta la temperatura de -22°C ., que contiene un 75% del cianuro de hidrógeno(19). Siguiendo este método, R. Sánchez y su equipo obtuvieron cuatro veces más diaminomaleodinitrilo (tetrámero del HCN), que cuando realizaron el proceso a la temperatura de 25°C (75). La temperatura de formación óptima para el tetrámero fue de -10°C . (75,76,77).

Este tipo de reacción puede presentarse en la superficie misma del hielo. Miller y Orgel (19) indican que estos procesos de síntesis se pudieron dar sobre los lagos o estanques congelados o en el granizo, debido a que el cianuro de hidrógeno y otros compuestos similares como el cianógeno, la cianamida, etc., son extremadamente solubles en agua. De esa manera se obtendría (como se hace en el laboratorio), una capa superficial formada por una solución eutéctica. Este parece, a juicio de Miller y Orgel (19), un método atractivo de generación de soluciones concentradas de cianuro bajo condiciones que automáticamente las expondrían a la luz solar.

Por otra parte, Ponnaemperuma pudo obtener guanina, además de la adenina, irradiando con luz U.V. una solución acuosa diluida de cianuro de hidrógeno (10^{-3} mol/l) También fue capaz de obtener la adenina por bombardeo con rayos β de una mezcla de metano, amoniaco, vapor de agua y una pequeña cantidad de hidrógeno elemental (78), en un aparato semejante al que emplearon Palm y Calvin (79) con los mismos fines (fig. 6 y 7).

(78) C. Ponnaemperuma (1965), en: S.W. Fox ed. (1965), op. y ed. cit. (62), pp.221-235.
(79) C. Palm y M. Calvin (1962), J. Am. Chem. Soc. 84, 2115-2121.

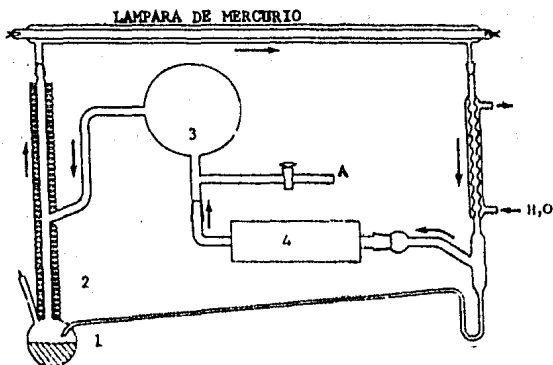


Figura 6.- Aparato para irradiación ultravioleta de mezclas gaseosas, utilizado por W. E. Groth y H. V. Weyssenhoff.

1) Matraz con agua hirviendo. 2) Resistencia de calentamiento. 3) Matraz de cinco litros. 4) Bomba de circulación. A) Llave de paso.

Tomado de: D. H. Kenyon y G. Steinman, (22).

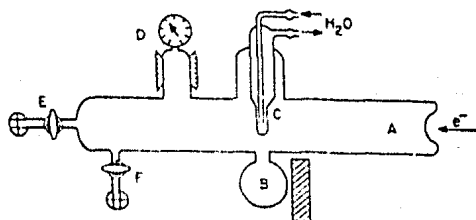
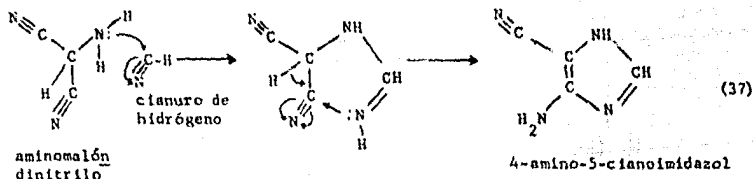
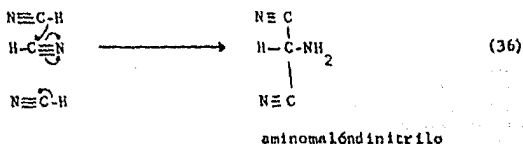


Figura 7.- Aparato para irradiación de mezclas gaseosas simulando la atmósfera primitiva. Empleado por Ponnampertuma, (78).

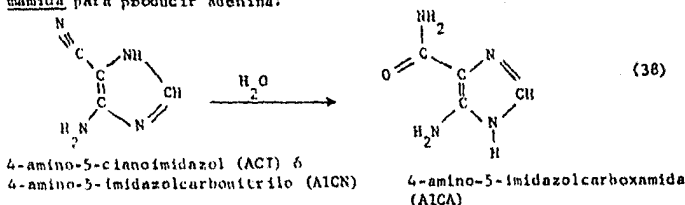
A) Zona de irradiación. B) Depósito de agua hirviendo. C) Refrigerante. D) Manómetro. E) Llave de paso. F) Llave de paso.

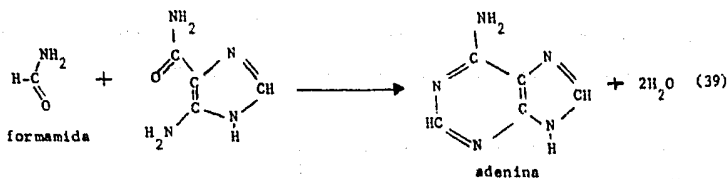
Utilizando una mezcla de metano, amoníaco, vapor de agua y una pequeña cantidad de hidrógeno, se obtuvo como producto principal adenina.

Como se ha podido advertir, hay diferencias en cuanto a la primera producción de adenina por Oró y las de Sánchez *et al.*, y Ponnampertuma. También las hay en relación con los mecanismos de reacción posibles en la síntesis de adenina y de otras bases púricas. Calvin (80), por ejemplo, plantea que el trimero inestable del cianuro de hidrógeno (aminomalóndinitrilo), que se formaría directamente por la unión de tres moléculas de HCN, reaccionaría con una cuarta molécula para ciclizarse y dar origen al 4-amino-cianoimidazol o 4-aminoimidazol-5-carbonitrilo:

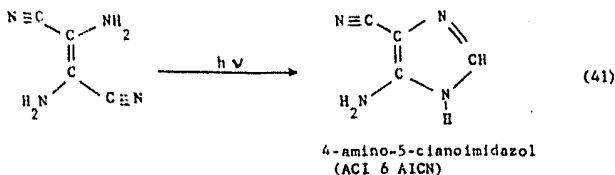
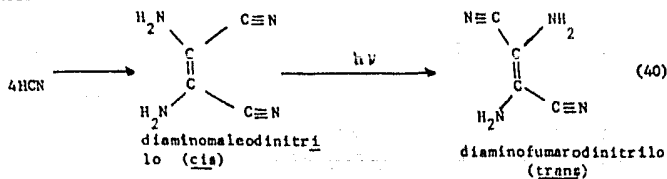


Después de una hidrólisis moderada, el 4-amino-5-cianoimidazol se transforma en 4-amino-5-imidazolcarboxamida, el cual reacciona con una molécula de formamida para producir adenina:





El mecanismo planteado por Sánchez, Ferris y Orgel es parecido al de Calvin, pero más explícito. Consideran que el trimero del HCN (aminomalondinitrilo), reacciona con la cuarta molécula de cianuro para formar el tetrámero diaminomaleodinitrilo (76, 81); por hidrólisis puede producir glicina (*supra*, IV, 2.1.) (19,76, 82), puede polimerizarse hasta formar un sólido negro insoluble de estructura aún desconocida (*v. infra*, IV, 3.1.), o puede ciclizarse por un rearrreglo intramolecular inducido por la luz U.V., transformándose primero en su isómero geométrico (trans), o sea, en el diaminofumarodinitrilo (76,81), el cual a su vez forma el 4-amino-5-cianoimidazol:

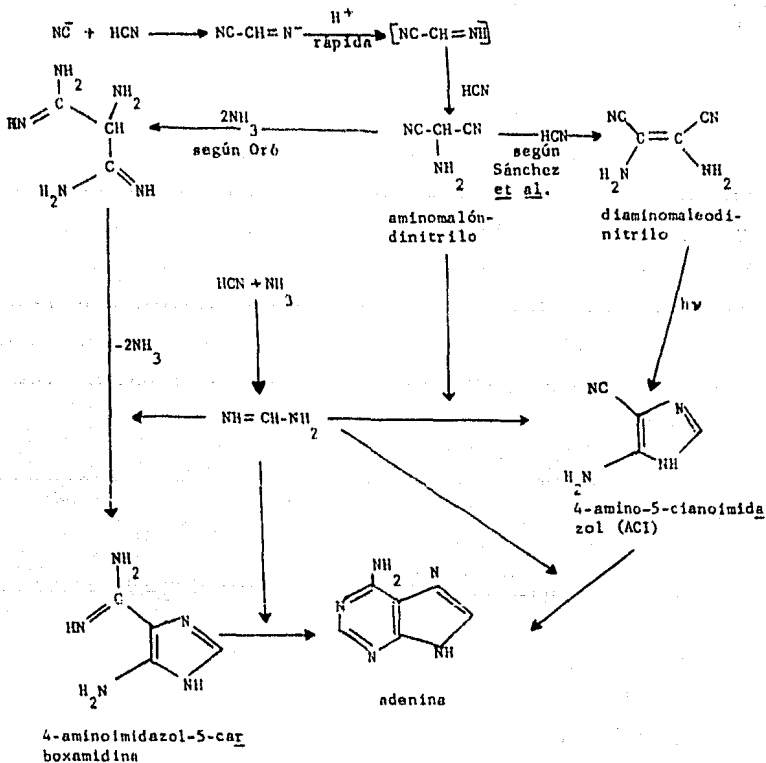


Este rearrreglo fotoquímico resulta óptimo a la longitud de onda de 350 nm. Por tal motivo la reacción puede completarse en presencia de la luz solar (19,76). El compuesto ACI ó AICN (4-aminoimidazol-5-carbonitrilo), podría seguir el camino expresado en la ecuación (38) y en la (39).

(81) J.P. Ferris y L.E. Orgel (1966), J. Am. Chem. Soc. **88**, 1074.

(82) J.P. Ferris, D.H. Donner y W. Lotz (1972), J. Am. Chem. Soc. **94**, 6968-6974.

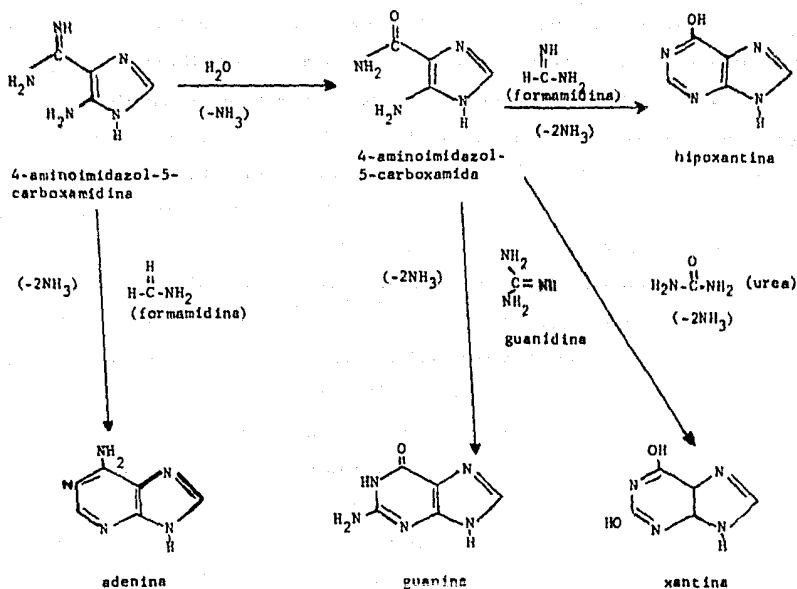
En el siguiente esquema se relacionan y se resumen los mecanismos de síntesis de la adenina, de acuerdo con Kenyon y Steiman (22, p.152):



Referente a la síntesis de las otras bases púricas (72,73,74,76,77,78,79),

Oró ha sugerido las siguientes vías (*):

(*) Citado por S.W. Fox y K.Dose (1972), op. y ed. cit. (8) p. 108.



Esto significa que las vías iniciales de polimerización para cualquier base púrica son prácticamente las mismas. Entre los intermediarios aislados destaca, como se ha visto, el diaminomaleodinitrilo.

En realidad, estos procesos de síntesis de bases púricas siguen siendo actualmente los más relevantes por su plausibilidad en los términos de la evolución química; sin embargo, hace algunos años Yang y Oró propusieron una producción de bases púricas y pirimidicas bajo un proceso de tipo Fischer-Tropach (83) (v. su-

(83) C.C. Yang y J. Oró (1971), en: R. Buvet y C. Ponnamparum eds. (1971) op. y ed. cit. (34) p. 152-167

pra), sometiendo a temperaturas de unos 600°C una mezcla de monóxido de carbono (CO), hidrógeno (H_2) y amoníaco (NH_3), en presencia de una aleación de hierro y níquel como catalizador. En este caso, los intermediarios serían también el cianuro de hidrógeno o el cianoacetileno (83). Desde luego, la posibilidad de un proceso como este en la Tierra primitiva es muy remoto, aunque no puede descartarse del todo, al igual que en el caso de los aminoácidos. Recientemente un equipo de investigadores encabezados por Simionescu (84) lograron sintetizar purinas, pirimidinas y nucleósidos por la acción de descargas eléctricas de alta frecuencia sobre una mezcla gaseosa compuesta de metano, amoníaco y agua. Estos autores también suponen la formación de ácido cianhídrico o cianuro de hidrógeno como precursor.

En todos los experimentos encaminados a obtener bases nitrogenadas bajo supuestas condiciones prebióticas, la adenina resulta ser la más común y más abundante si no es que la única detectada. Esto se explica en gran parte por la mayor energía de resonancia (*) de la adenina respecto de las otras bases nitrogenadas (85). A. Pullman y B. Pullman (86), señalan que el papel particular jugado en la bioquímica por la adenina ha estado relacionado con su estabilidad cinética y termodinámica especialmente notable.

2.2b. SINTESIS DE BASES PIRIMIDICAS.

Las bases pirimidicas han sido las que más dificultades presentan para ser sintetizadas en el laboratorio bajo condiciones prebióticas simuladas. En -

(84) C. Simionescu, T. Lixandru, V. Gorduzza y C. Goras (1977), Origins of Life, **8**, 237-246.

(85) B. Pullman y A. Pullman (1962), Nature, **196**, 1137-1142.

(*) Para este concepto consúltese; R.T. Morrison y R.N. Boyd (1976), Química Orgánica, Ed. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá, pp. 216-223; y, S. Glasstone (1961), Tratado de Química Física, Ed. Aguilar, pp. 73-74 y 103-105.

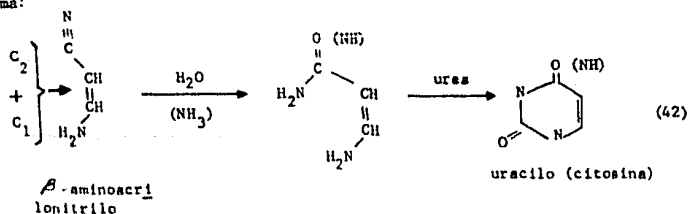
(86) A. Pullman y B. Pullman (1967), Quantum Biochemistry, en: M. Florkin y E.H. Stotz, eds. (1967), Comprehensive Biochemistry, vol. 22 (Bioenergetica), Ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 1-60.

efecto, realmente hasta esta década puede decirse que se han conseguido producir de modo más o menos plausible estos compuestos, tan importantes desde el punto de vista bioquímico. Las pirimidinas requirieron de condiciones menos violentas para ser producidas (8). La primera síntesis de una base pirimidica fue la de Fox y Harada en 1961 (87). Estos autores obtuvieron uracilo por calentamiento entre 120 y 130°C de una mezcla fundida de ácido málico, urea y ácido polifosfórico. Empero, es muy poco fidedigno desde el punto de vista de la evolución química en este método porque emplea los polifosfatos que solamente son estables en condiciones totalmente anhidras y cuya síntesis previa en la Tierra primitiva no está clara (v. *infra*, IV, 3.2).

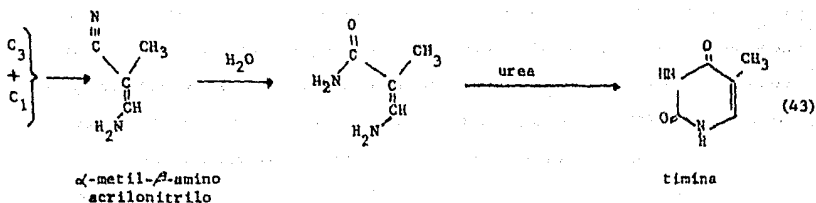
Oró sugirió en 1961 (88) que compuestos de carbono de dos y de tres átomos, como los detectados en los cometas, podrían ser los precursores de las bases pirimidicas. Más tarde (62) propuso que estos precursores podrían dar lugar al

β -aminoacrilonitrilo o al α -metil- β -aminoacrilonitrilo, según el siguiente

esquema:

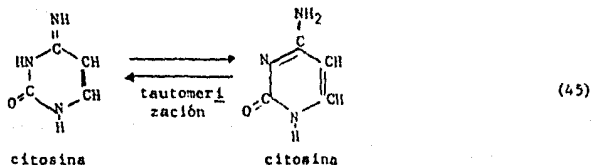
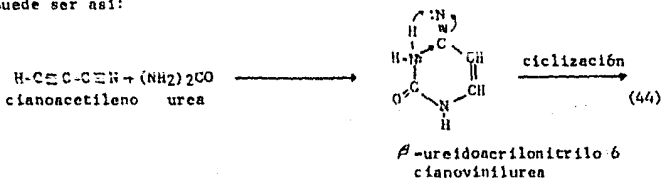


- (87) S.W. Fox, y K. Harada (1961), *Science*, **133**, 1923-1924. Véase también: S.W. Fox y K. Dose (1972), *op. cit.* (8).
 (88) J. Oró (1961), *Nature*, **190**, 389-390.



Basado en esta idea Oró puede sintetizar uracilo en solución acuosa conteniendo acrilonitrilo, urea y cloruro de amonio (ver tabla No. 3).

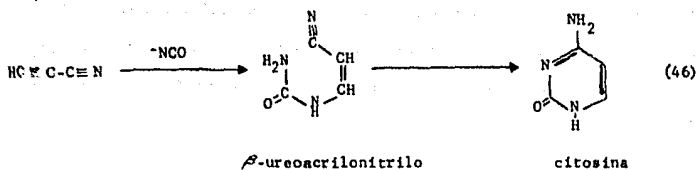
Por su parte, Sánchez, Ferris y Orgel (50) descubrieron que el cianoacetileno formado por las descargas eléctricas en una atmósfera de metano y nitrógeno, al reaccionar con el amoníaco, produce β -aminacrilonitrilo el cual puede reaccionar en la forma sugerida por Oró, o bien, el cianoacetileno puede reaccionar directamente con la urea y formar, tras una ciclización, la citosina (89). El mecanismo puede ser así:



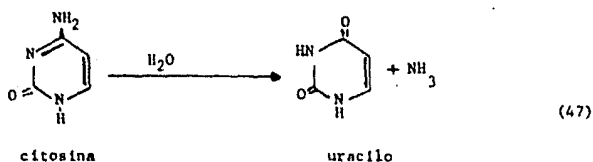
El β -ureidoacrilonitrilo (cianovinilurea), también se puede obtener por vía del cianato de potasio y del cianoacetileno (89) (°).

(89) J.P. Ferris, R.A. Sánchez y L.E. Orgel (1968), *J. Mol. Biol.*, **33**, 693-704.

(°) Véase también: S.L. Miller y L.E. Orgel (1974), *op. y ed. cit.* (19).

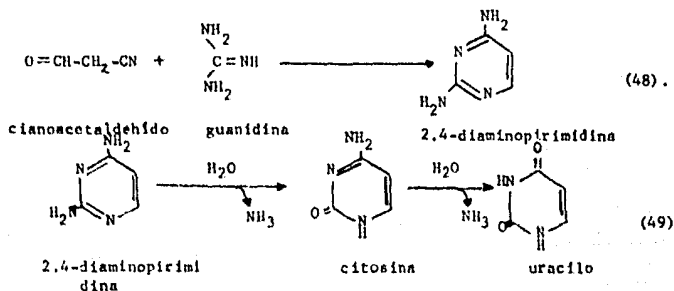


Ferris, Sánchez y Orgel también pudieron producir uracilo por hidrólisis de la citosina (89). Este proceso se lleva a cabo a un pH ligeramente alcalino o neutro (7-9) y calentando la solución acuosa por encima de 100°C:



Otra forma de obtener uracilo a partir de la citosina es por desaminación radiolítica de ésta (90) por medio de irradiación γ (de ^{60}Co).

Más recientemente, Ferris, Zamek, Altbuch y Freiman, sintetizaron citosina y uracilo en condiciones simuladas, menos violentas. Ellos trataron una solución acuosa de cianocetaldehído con guanidina obteniendo 2,4-diaminopirimidina la cual por hidrólisis suave produce primero citosina y luego el uracilo (91):



(90) C. Ponnamperuma, R.M. Lemmon y M. Calvin (1962), *Science*, **137**, 605-607.

(91) J.P. Ferris, O.S. Zamek, A.M. Altbuch y H. Freiman (1974), *J. Mol. Evol.*, **3**, 301-309.

El cianoacetaldehído resulta de la hidrólisis parcial del cianoacetileno. Esta ruta es señalada como más aceptable desde el punto de vista de la evolución prebiótica (91) debido a que el cianoacetileno es poco estable en medio acuoso a pH > 7.

Más interesantes aún para la química prebiótica resultan los últimos trabajos de Ferris y sus colaboradores (92,93), que han podido formar diversos derivados pirimídicos de posible relevancia biológica. Se trata de compuestos sintetizados por vía de la polimerización del cianuro de hidrógeno en solución acuosa; estos son: ácido orótico, 5-hidroxiuracilo y 4.5-dihidroxipirimidina. Estos resultados están en completa concordancia con los correspondientes a la síntesis de aminoácidos por hidrólisis de polímeros del cianuro de hidrógeno (HCN) (55-59), a través de la producción de hidantoínas (92, 93, 94).

Dejando soluciones acuosas 0.1-1.0M (pH ~ 9.2) en reposo a la temperatura ambiente durante un mes o más, se obtuvieron mezclas complejas conteniendo los llamados "polímeros" de HCN (*), además de ácido oxálico, uraa y otros compuestos menos importantes. Por hidrólisis parcial, estos oligómeros del HCN producen hidantoínas quizá por ciclización de los carbamilos de aminoácidos (94). Los resultados parecen indicar un mecanismo muy complejo a través del diaminomaleodinitrilo y el diaminofumarodinitrilo (Sauer, IV, 2.2a). En estas reacciones se obtienen además de las hidantoínas, pirimidinas. Una de las pirimidinas, el ácido orótico, se forma a partir de la 5-carboxi-metildén-hidantoína (93).

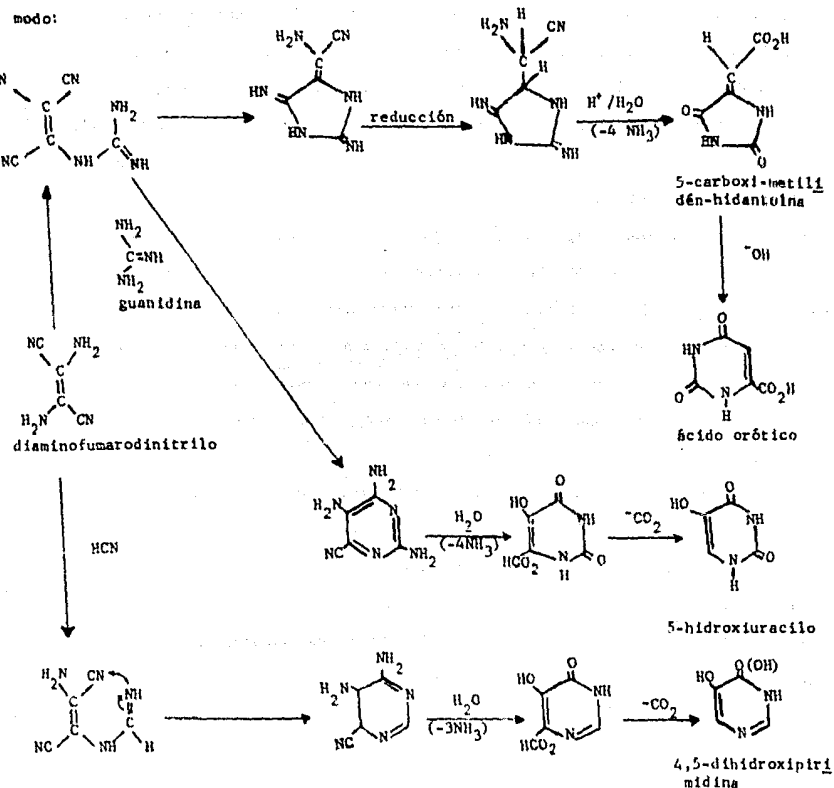
(92) J.P. Ferris, J.D. Wos, et al. (1974), en: J.Oró, S.L. Miller, C.Ponnamperuma y R.S. Young (1974), op. y ed. cit. (47), pp. 153-157.

(93) J.P. Ferris, P.C. Joshi y J.G. Lawless (1977), BioSystems, 9, 81-86.

(94) J.P. Ferris, J.D. Wos y A.P. Lobo (1974), J. Mol. Evol., 3, 311-316.

(*) Realmente, como señalan Ferris et al., es impropio calificar de polímeros a estos compuestos porque se trata de cuerpos con un peso molecular entre 500 y 1000; por lo tanto, deben considerarse como oligómeros ya que se aceptan como polímeros sólo aquellos compuestos que rebasan un peso molecular de 1000. La estructura de los oligómeros del HCN aún se desconoce.

El proceso global es esquematizado por Ferris et al. (93), de este



El Ácido orótico es un compuesto intermedio en la biosíntesis del uracilo (95); el 5-hidroxiuracilo, según Lis y Parnas (1966) (*), es un componen

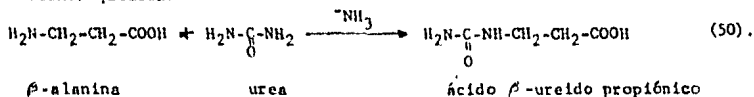
(95) A.L. Lehninger (1975), Biochemistry, Ed. Worth, Nueva York, pp. 735-737.

(*) Citado por J.P. Ferris et al. (93).

te menor del ARN de las levaduras, además, derivados de esta sustancia como el nucleósido 5-hidroxiuridina intervienen en la mayoría de las reacciones metabólicas de la uridina en las células ascitas de Ehrlich (según Smith y Vissor, - 1965, citado en 93); y el 5'-trifosfato de 5-hidroxiuracilo inhibe la polimerasa del ARN (Roy-Burman et al., 1965, citado en 93). Por estas razones, Ferris et al., (93) sugieren que el 5-hidroxiuracilo "pudo haber sido compatible con la máquina bioquímica primitiva responsable de la síntesis de ácidos nucleicos en las primeras formas de vida". Por lo que respecta a las 4,5-dihidroxipirimidinas, pueden considerarse como probables componentes de los ácidos nucleicos primitivos a juzgar por su fácil síntesis en condiciones prebióticas simuladas y porque su apareamiento con otras bases como la adenina no involucraría ninguna alteración fundamental en el propio apareamiento de bases y quizá tampoco en el código genético (93). Habría que explicar, desde luego, porqué el uracilo substituyó a esos compuestos en el curso de la evolución.

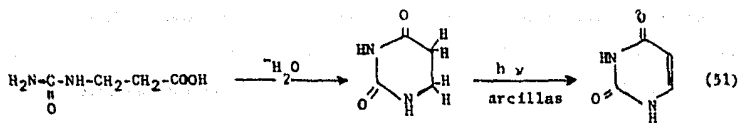
Por otro lado, el ácido oxótico produce fácilmente, por descarboxilación, el uracilo.

Otra síntesis reciente del uracilo fue la de Chittenden y Schwartz (96, 97) (ver tabla No.3), haciendo reaccionar β -alanina y urea en presencia de minerales arcillosos, principalmente montmorillonita, en una atmósfera de nitrógeno y calentando a temperaturas de 60 a 90°C. La reacción sucede de acuerdo con las ecuaciones químicas :



(96) G.J.F. Chittenden y A.W. Schwartz (1976), Nature, 263, 350-351.

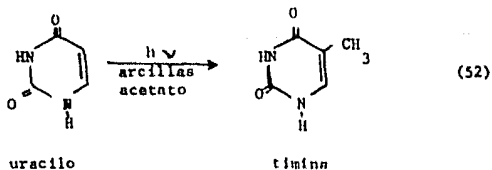
(97) A.W. Schwartz y G.J.F. Chittenden (1977), BioSystems, 9, 87-92.



5.6. Dihidrouracilo (DHU)

uracilo

La ecuación 51 expresa un proceso de fotodeshidrogenación mediante la luz ultravioleta. Este proceso puede desencadenar finalmente la producción de timina, sólo que en presencia de acetato :



uracilo

timina

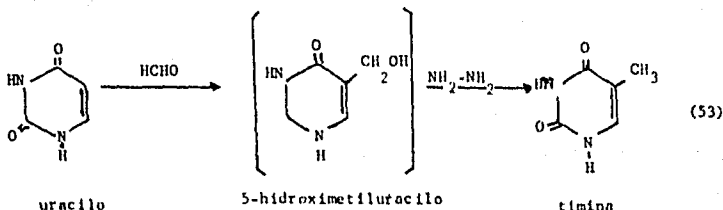
Los resultados óptimos se logran mediante la evaporación por calentamiento suave (40-70°C durante 30 min.), de la solución acuosa de la β -alanina y la urea y en presencia de minerales arcillosos (se puede emplear gel de sílice). La irradiación con luz ultravioleta (U.V.) se hace en presencia de vapor de agua y de arcillas hidratadas (medio hipohídrico) (97), durante 48 horas.

La síntesis de timina merece especial atención. En primer lugar, porque es una base característica del ADN y, en segundo lugar, porque no se pudo sintetizar hasta 1971 en condiciones simuladas de la Tierra primitiva. Efectivamente, los primeros en conseguir la formación de timina en tales condiciones fueron Stephen-Sherwood, Oró y Kimball (98). El experimento se llevó a cabo con una solución acuosa amoniacal de uracilo, paraformaldehído e hidracina como agente reductor. Dicha solución con 0,005 mol de cada uno de los reactivos, fue sometida a calentamiento (70°C) durante 3 días a un pH de 8.5 (ligeramente alcalino). La hidracina fue es-

cogida porque puede producirse con cierta facilidad en los experimentos de evolución química (por descargas eléctricas sobre amoníaco) (98).

La ecuación siguiente expresa esta síntesis, según los autores referidos

(98):



El porcentaje de timina obtenido fue de 0.1

Un experimento parecido es el que últimamente reportan Coughuley et al. (99). En efecto, ellos pudieron formar timina reduciendo uracilo con ácido fórmico en presencia de formol (aldehído fórmico); también se empleó el 5-hidroximetiluracilo (ver Tabla No. 3), en lugar de uracilo. Las mezclas a concentraciones 1.0M, 0.1M, y 0.001M, fueron calentadas a temperaturas de 100 y 140°C en tiempos que fluctuaban entre 50 horas y 4 semanas. Los productos obtenidos, principalmente timina, dependen de la temperatura, el pH y la concentración. Los otros productos fueron el 5-hidroximetiluracilo (HMU) y el metilénbriuracilo (MBU). Los porcentajes más altos de la timina fueron de 5 cuando se empleó una concentración 1.0M de uracilo y una temperatura de 140°C durante 50 horas.

El empleo del ácido fórmico como agente reductor en esta clase de experimentos, como lo han demostrado Sato et al., (*) y Sandoval y Young (100), ha resultado adecuado. Si a esto se añade la enorme facilidad con que se produce bajo condiciones prebióticas simuladas, aún en atmósferas tan pobremente reductoras como

(98) L. Stephen-Sherwood, J.Oró y A.P. Kimball (1971), Science, **173**, 446-447.

(99) A.S.U. Choughuley, A.S. Subbaraman, Z.A. Kazi y M.S. Chadha (1977), BioSystems, **9**, 73-80.

(*) Citado en (99).

(100) A.A. Sandoval, y V.Young (1973), BioSystems, **5**, 123-127.

las empleadas por Garrison y sus colaboradores (13), y su relativa abundancia en el espacio exterior, resulta evidente la plausibilidad de esta clase de experimentos, por lo menos en lo que respecta a este renglón. Todo lo dicho para el ácido fórmico es extensivo para el formol.

2.3. SINTESIS DE MONOSACARIDOS Y ACIDOS CARBOXILICOS

La producción de monosacáridos y de ácidos grasos no ha recibido la debida atención en los experimentos bajo supuestas condiciones de la Tierra en la primera época de su existencia (ver tabla No.3). Esto, desde luego, no es muy acertado y se espera que la investigación futura sobre el origen de la vida cubra ese flanco. No hay que olvidar la enorme importancia que los azúcares tienen en los procesos metabólicos y en la construcción de estructuras celulares y sobre todo su indispensable presencia para la síntesis de los nucleótidos y de los ácidos nucleicos.

Los experimentos más sobresalientes hasta ahora siguen siendo los de Gabel y Ponnamparuma (101), y de Reid y Orgel (102), que obtuvieron una mezcla de triosas, tetrasas, pentosas y hexosas, por polimerización del formol en solución acuosa (0.5-0.01M), en medio ligeramente alcalino y en presencia de aluminosilicatos (101) o de algunos carbonatos minerales (102).

El principal problema con el que se topa la investigación del origen prebiótico de los azúcares, es que éstos son muy inestables y conforme se forman generalmente se van descomponiendo. Además, requieren para ser sintetizados de altas concentraciones de formol difícilmente conciliables con las condiciones reinantes en la época prebiótica (102).

Respecto a los ácidos grasos y carboxílicos en general, se ha tropuzado

(101) N.W. Gabel y C. Ponnamparuma (1967), Nature, 216, 453-455.

(102) C.Reid y L.E. Orgel (1967), Nature, 216, 455.

con menos problemas que con los azúcares (Tabla No.3). Ya se ha visto que en los experimentos de Miller se obtenían distintos tipos de ácidos, como el fórmico, el acético, el propiónico, el láctico, etc. Sin embargo, a los que más interesan sintetizar es a los de mayor peso molecular que son precisamente los que ofrecen las mayores dificultades para estos trabajos. Estos ácidos forman importantes estructuras tales como las membranas y son también fuente de energía para las actividades celulares. Asimismo, interesa la obtención de los ácidos dicarboxílicos bajo las condiciones ya estipuladas, por el papel tan destacado que juegan en los procesos metabólicos fundamentales. Precisamente en este renglón destacan los trabajos recientes de Zeitman, Chang y Lawless (103), quienes hicieron pasar descargas eléctricas en una mezcla de metano, nitrógeno y una solución de cloruro de amonio (NH_4Cl) muy diluida (0.05M), durante 48 horas. Entre los principales ácidos obtenidos figuran el malónico, el succínico, el fumárico, el maleico, el glutárico y el adípico.

Igualmente importante es el trabajo recientemente publicado por Ponnampertuma y Negrón-Mendoza (104), donde se informa de la síntesis de algunos ésteres de ácidos di y tricarboxílicos, como el succinato, el glutarato, el citrato, el isocitrato, el maleato o el fumarato, que resultan ser intermediarios en el ciclo de Krebs. La forma de producir estos compuestos tan importantes fue por irradiación γ de una solución acuosa de ácido acético. El tiempo de exposición fue de 0.5 a 30 horas.

3.- POLICONDENSACIONES PREBIOTICAS

En los párrafos que anteceden al presente se ha tratado, lo más brevemente posible, la producción de biomonómeros que corresponde a la primera etapa fundamental de la evolución química. Toca ahora hacer una breve revisión de los más -

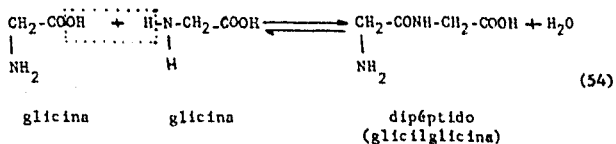
(103) B. Zeitman, S. Chang y J.C. Lawless (1974), Nature, 251, 42-43.

(104) A. Negrón-Mendoza y C. Ponnampertuma (1976), Origins of Life, 7, 191-196.

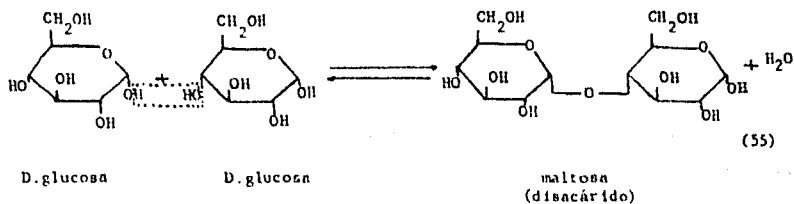
importantes trabajos sobre la segunda etapa de la evolución prebiológica, o sea, la síntesis de las macromoléculas bioquímicas que con frecuencia se denominan - biopolímeros y que quedarán aquí comprendidas bajo el rubro de policondensaciones prebióticas. En este apartado también haré referencia a los nucleósidos y a los nucleótidos, que por lo regular se tratan en la primera etapa de la síntesis prebiótica.

Al pasar de una etapa de la biopoyesis a otra los problemas se multiplican exponencialmente, lo cual dificulta sobremanera la forma de resolverlos.

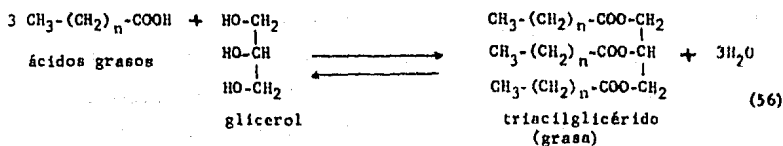
El primer problema con que se topan los científicos es la omnipresencia del agua, la cual es indeseable para la condensación de unidades moleculares de - interés biológico; por ejemplo: cuando dos aminoácidos reaccionan entre sí para formar un dipéptido o un enlace peptídico se produce además una molécula de agua:



Del mismo modo, cuando se unen dos moléculas de monosacáridos para producir una molécula de disacárido:



Esto sucede igualmente cuando se forma una grasa (triacilglicérido):



En fin, cualquier condensación de sustancias bioquímicas acarrea forzosa-
mente un subproducto que es el agua. Si por cada enlace formado en la condensación
se forma una molécula de agua, resulta obvio, por lo tanto, que si hay un exceso de
agua en el medio en el cual se realiza la reacción ésta cambiará de sentido, hidro-
lizándose el producto recién formado, inclinándose de este modo el equilibrio hacia
la izquierda de la ecuación.

Hay pues una barrera termodinámica que es necesario vencer. J.D. Bernal
(105, 106), indicó que podía evitarse este problema de dos maneras: removiendo el
producto principal mediante su adsorción en las superficies de algunos minerales -
tales como las arcillas, o bien, removiendo el agua. Otros autores pi-
ensan que la condensación de biomoléculas puede realizarse en presencia del agua a-
través de agentes condensantes (22, 80). En realidad, lo que estos agentes hacen
es remover el agua producida por la propia condensación. Se trata, por lo tanto,
de una reacción de hidrólisis acoplada con otra de condensación. Entre los muchos
agentes de este tipo se han propuesto el cianuro de hidrógeno (HCN), la cianamida
(H₂N-CN), la dicianamida (NC-NH-CN) y los polifosfatos inorgánicos.

Como veremos, la propuesta de Bernal se complementa con la de los agen-
tes condensantes.

3.1. EL PROBLEMA DE LAS FOSFORILACIONES PREBIÓTICAS.

Como se sabe, los ácidos nucleicos (ADN y ARN), están constituidos por
biomoléculas llamadas nucleótidos, que a su vez están integrados por residuos de -

(105) J.D. Bernal (1960), Nature, 186, 694-695.

(106) J.D. Bernal (1967), The Origin of Life, Ed. The World Publ. Londres, p.56-58.

una base nitrogenada (púrica o pirimídica) de una pentosa o azúcar de cinco carbonos (ribosa o desoxirribosa) y de un fosfato. En consecuencia, para poder sintetizar un polinucleótido o un ácido nucleico es necesario, primero, sintetizar los derivados fosfatados de los nucleósidos (los nucleótidos). En otros términos, para producir un nucleótido es menester fosforilar (incorporar un fosfato), a un nucleósido. Por otra parte, la fosforilación es un proceso difícil si no se cuenta con fuentes adecuadas de energía y con los fosfatos adecuados (solamente cierto tipo de fosfatos pueden servir como agentes fosforilantes). Los compuestos que reúnen estos requisitos son los polifosfatos. En los seres vivos el agente de fosforilación y de energía es un polifosfato orgánico: el trifosfato de adenosina o ATP. Sin embargo, los polifosfatos inorgánicos prácticamente no existen, son inestables y se hidrolizan con facilidad. Además, los fosfatos que abundan en la corteza terrestre están en forma de ortofosfatos, principalmente de calcio, los cuales son insolubles en el agua, como la fluorapatita: $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$.

Se calcula que actualmente la concentración de fosfatos en los océanos y la mayoría de las aguas superficiales es del orden de 10^{-7} a 10^{-6} M, debido a que de inmediato se precipitan como apatitas (107). Por otra parte, esos fosfatos solubles son en mayor proporción de origen orgánico (108, 109) (fig. 8), tales como la sal microcósmica o estarcocrita ($\text{NaNH}_4\text{HPO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) y la estrunita ($\text{MgHPO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), que aparecen en el guano, y el ortofosfato doble de magnesio y amonio hexahidratado ($\text{Mg}_2\text{NH}_4\text{PO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), que se encuentra en el guano, en la orina y a veces en los cálculos renales (110).

(107) R. Lohrman y L.E. Orgel (1971), Science, 171, 490-494.

(108) E. P. Odum (1971), Fundamentals of Ecology, ed. Saunders, Filadelfia, pp. 88 y 91-92.

(109) B. Mason (1966), Principles of Geochemistry, ed. John Wiley and Sons, Nueva York, p. 45, 100, 194-196.

(110) H. Hargalló (1962), Tratado de Química Inorgánica, ed. Porrúa, México, p. 618

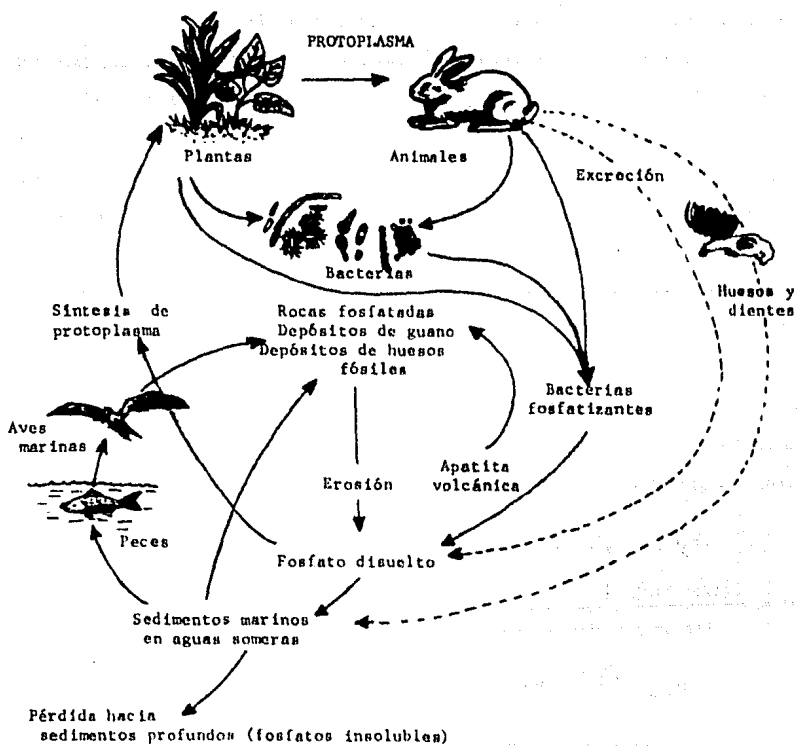


Fig. 8.- Ciclo biogeoquímico del fósforo. Como puede advertirse, la mayor parte del fósforo disuelto se debe a la actividad de los sistemas biológicos y sólo una mínima parte procede de reacciones inorgánicas.

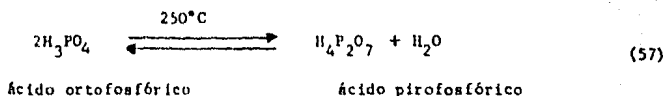
Basado en: E. P. Odum, (108).

Estudios realizados por Halmann en el lago Kinneret con ³²P demuestran que un 97% de la renovación del fósforo es debida a procesos biológicos y al 3% restante debida a procesos totalmente inorgánicos (111).

A tono con lo anterior surge una pregunta: ¿cuál fue el mecanismo que permitió la participación del fósforo en la evolución química prebiológica?

Esta cuestión entraña dos aspectos: la activación de los fosfatos y la concentración de éstos en el ambiente prebiótico de la Tierra. Estos aspectos son las premisas fundamentales para explicar el origen de las fosforilaciones biológicas. Por ende, si ha de darse una explicación científica satisfactoria sobre los orígenes de los seres vivos ha de darse una salida plausible al problema de las fosforilaciones prebióticas.

Se llama activación de los fosfatos a la condensación de éstos en polifosfatos. El procedimiento más empleado por la química sintética tradicional para producir piro o polifosfatos ha consistido en el calentamiento de los ortofosfatos a temperaturas superiores a los 200°C; v.gr.:



Por un proceso paralelo se puede obtener el ácido metafosfórico (110):



el cual también puede considerarse un fosfato condensado.

Las reacciones anteriores se llevan a cabo por un proceso de deshidratación térmica (pirocondensación); por lo tanto, los productos resultantes son ricos en energía libre misma que liberan cuando se hidrolizan (energía libre de hidrólisis)

(111) M. Halmann (1974), K.Dose., S.W. Fox, et al., op y ed. cit. (45), pp. 169-182.

sia). Por consiguiente, puede considerarse que las sales de ácidos de fósforo de orden superior (polifosfatos o polimetafosfatos) son resultantes de procesos semejantes a los anteriores.

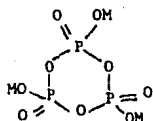
La estructura molecular de los polifosfatos es lineal:



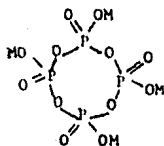
di, o pirofosfato

donde M = ión metálico, ión amonio o hidrógeno sustituible.

Los polimetafosfatos o polímeros de las sales del ácido metafosfórico $(\text{HPO}_3)_n$, presentan una estructura cíclica o cerrada:



trimetafosfato



tetrametafosfato

Formas aún más condensadas de fosfatos son los llamados ultrafosfatos y los fosfatos vítreos o amorfos como la sal de Graham (112, 113, 114). La estructura de los ultrafosfatos es ramificada y parecida a la estructura del decaóxido de fósforo $(\text{P}_4\text{O}_{10})$ (*), el cual puede ser considerado como un ultrafosfato de máxima condensación (113, 114).

(112) D.E.C. Corbridge (1974), The Structural Chemistry of Phosphorus, Ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 159-166.

(113) E.J. Griffith, C.Ponnampuram, y N.W. Gabel (1977), Origins Of Life, 8, 71-85.

(114) E.J. Griffith (1977), en: C.Ponnampuram, ed. (1977), Chemical Evolution of - the early Precambrian, ed. Academic Press, Nueva York, pp. 61-67.

(*) Mejor conocido como pentaóxido de fósforo, aunque esta denominación es incorrecta pues se sabe que su composición no es P_2O_5 , sino P_4O_{10}

Generalmente el grado de condensación de los fosfatos se calcula por la relación M_2O/P_2O_5 ; si ésta es igual a 3 se trata de un ortofosfato (mínima condensación), si sus valores son de 2 o mayores de la unidad corresponde a un polifosfato, si resulta igual a la unidad entonces es un polimetafosfato y si es inferior a 1 corresponde a un ultrafosfato.

Algunos autores como Schramm y Lipman, basados en la importancia capital de los polifosfatos en las fosforilaciones metabólicas, han señalado que estos compuestos eran relativamente abundantes en la Tierra primitiva y que sus depósitos realizaron las fosforilaciones prebióticas que promovieron la síntesis de compuestos tales como las proteínas y los ácidos nucleicos primitivos (115, 116, 117). Esta opinión se ve en cierta forma respaldada por algunos estudios de bioquímica comparada realizados por Kulaev (118, 119) y otros autores. Estos estudios han revelado que en muy diversas células se encuentran polifosfatos inorgánicos (incluyendo polimetafosfatos) (120, 121, 122). Efectivamente, tanto en las células protocarióticas como en las eucarióticas existen polifosfatos inorgánicos además del ATP y del ADP. Sin embargo, en algunos organismos los polifosfatos inorgánicos toman prácticamente el papel del ATP, tal es el caso de algunas bacterias, como las actinomicetales (118, 119, 120). Estos hechos son tomados por Kulaev y otros como la evidencia de "fósiles metabólicos" o "bioquímicos" (118, 119). Sin embargo, nos encontramos aquí de nuevo con el problema de la ubi

- (115) G. Schramm (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pasyanski, et al., eds. (1959), op. y ed. cit (2), pp. 307-311.
- (116) G. Schramm (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (62), pp. 299-309.
- (117) F. Lipman (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), (62), pp. 259-273.
- (118) I.S. Kulaev (1971), en: R. Buvet y C. Ponnampuruma eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 458-465.
- (119) I.S. Kulaev (1974) en: K. Dose, S.W. Fox, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (45) pp. 271-287.
- (120) F.M. Huennekens y H.R. Whiteley (1960), en: M. Florin y H.S. Mason, eds. (1960), Comparative Biochemistry, ed. Academic Press, Nueva York, pp. 107-180.
- (121) N.W. Gabel y C. Ponnampuruma (1972), en: C. Ponnampuruma, ed. (1972), Exobiology, ed. North-Holland, Amsterdam, pp. 95-135.
- (122) C. Ponnampuruma y N.W. Gabel (1974) en: J. Carlile y J.J. Skohel, eds. (1974) Evolution in the Microbial World, ed. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 393-413.

cuidad del agua sobre nuestro planeta que, según todos los indicios, ha estado presente en la Tierra desde que ésta se formó. Por lo tanto, parece exagerada la apreciación de Lipman y Schramm, pues como señala Griffith (114), "no hay ni una sola gran fuente de fosfatos condensados sobre la superficie de la Tierra y hay muy pocas probabilidades de que haya existido alguna". Lo cual está en plena armonía con lo que se ha dicho antes acerca de los fosfatos. Por otro lado, la presencia de polifosfatos en diversos organismos, especialmente en las bacterias, no forzosamente tiene que ver con las hipótesis de Schramm y Lipman. No obstante, quizá pudieron existir depósitos modestos de polifosfatos en determinadas regiones en donde su velocidad de formación y/o lixiviación (según fuera el caso), sobrepasara a su velocidad de degradación (113, 114). Dichas regiones podrían ser lagos o estanques desecados, zonas de mareas, lugares cercanos a volcanes activos, etc. En este sentido son de interés algunos reportes que indican la existencia de pequeñas cantidades de fosfatos solubles en algunos minerales; por ejemplo, la lomonosorita, $\text{Na}_2\text{Tl}_2\text{Si}_2\text{O}_9 \cdot \text{NaPO}_3$ y la metalomonosorita, $\text{Na}_3\text{H}_2\text{MnTiSi}_4\text{O}_{18} \cdot 2\text{NaPO}_3$, contienen metafosfato de sodio. Estos minerales se encuentran en ciertas pegmatitas. Minerales semejantes se encuentran en los depósitos de Branchville (E.U.A), los cuales tienen como composición $(\text{MnFeMg})\text{H}(\text{PO}_4)$, $2\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Mn}_2\text{H}_2(\text{PO}_4)_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, o sea, tienen fosfatos que son más o menos solubles (113, 114). Griffith señala que es razonable suponer que estos compuestos podrían originarse de la degradación de fosfatos condensados (114).

Por otra parte, el enfoque experimental del problema ha demostrado la relativa facilidad con que se pueden producir los fosfatos condensados. La síntesis de estos compuestos se ha logrado en medios más o menos anhidros y en presencia de agua.

En medios totalmente anhidros, Schramm obtuvo trimetáfosfato de etilo y con este compuesto produjo la fosforilación de la adenosina, sintetizando AMP, ADP y ATP, además de obtener péptidos (116). Resultados similares fueron obteni

dos por Ponnampuruma (78) y colaboradores (123) utilizando el mismo agente de fosforilación (trimetafosfato de etilo). Empero, compuestos como el trimetafosfato de etilo no pueden ser aceptados en el contexto de la evolución química.

En condiciones hipohidrosas, es decir, en presencia de pequeñas cantidades de agua (humedad ambiente, por ejemplo), se han podido fosforilar nucleósidos calentando éstos a 160°C en presencia de algunos ortofosfatos (124). Los mejores resultados en estos experimentos se consiguieron con ortofosfatos ácidos o monobásicos como el ácido fosfórico y el dihidrógeno fosfato de sodio (NaH_2PO_4) (124), y los más bajos rendimientos con ortofosfatos tribásicos como el fosfato trisódico (Na_3PO_4) y el fosfato tricálcico ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$). Estos resultados fueron confirmados en otra serie de experimentos mostrándose, además, que es posible formar polifosfatos inorgánicos (P_2 , P_3 , P_4 y P_5). Las pruebas dieron resultados satisfactorios en un rango de temperaturas de 92 a 160°C. La hidroxiapatita dio resultados negativos en estas pruebas (125, 126). Por calentamiento a temperaturas más bajas (65 a 90°C) pero más prolongados (semanas o meses), también se obtienen rendimientos aceptables aunque mucho menores (127).

Con todo, estos métodos dejan aún mucho que desear en el contexto de la evolución prebiótica, pues temperaturas mayores a 100°C sólo pueden concebirse en las zonas de intensa actividad volcánica. Sin embargo, se pueden formar polifosfatos y polimetáfosfatos en condiciones hipohidrosas a temperaturas más bajas en presencia de urea (107, 128-131). De este modo también se logran las fosforila-

(123) C. Ponnampuruma, C. Sagan y R. Mariner (1963), Nature, 199, 222-226.

(124) C. Ponnampuruma y R. Mack (1965), Science, 148, 1221-1223.

(125) J. Rabinowitz, S. Chang y C. Ponnampuruma (1968), Nature, 218, 442-443.

(126) J. Rabinowitz, S. Chang y C. Ponnampuruma (1971) en: A. P. Kimball y J. Oró, eds. (1971) Prebiotic and Biochemical Evolution, ed. North-Holland, Amsterdam, pp. 70-77.

(127) C. Ponnampuruma y S. Chang (1971) en: R. Buvet y C. Ponnampuruma, eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 216-223.

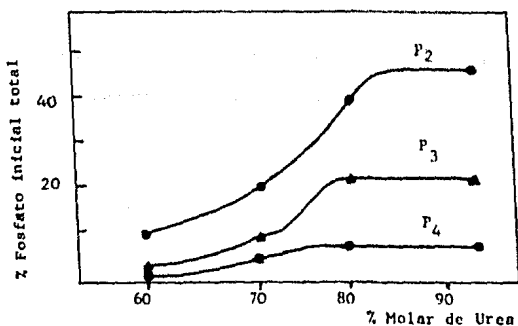
(128) R. Osterberg y L. E. Orgel (1972), J. Mol. Evol., 1, 241-248.

(129) R. Osterberg, L. E. Orgel y R. Lohrman (1973), J. Mol. Evol., 2, 231-234.

(130) M. J. Bishop, R. Lohrman y L. E. Orgel (1972), Nature, 232, 162-164.

(131) G. J. Handachuh, R. Lohrman y L. E. Orgel (1973), J. Mol. Evol., 2, 251-262.

ciones de los nucleósidos. El rendimiento de estas reacciones se ve mejorado aún más si se añade a las mezclas reactivas cloruro de amonio (NH_4Cl) (107,128 i29), pero en ausencia de urea no importa que el NH_4Cl sea agregado o no, pues - en este caso la formación de los productos es pobre (107) (gráfica 1 y Tabla No. 5).



GRAFICA No.1.- Fosfatos condensados producidos por calentamiento de mezclas de urea - $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ durante 46 horas. Las reacciones se llevaron a cabo al mismo tiempo en tubos de vidrio abiertos a la humedad ambiente y a 100°C (128). NOTA: P_2 = difosfato (pirofosfato), P_3 = trifosfato y, P_4 = tetrafosfato.

TABLA No. 5.- Formación de trimetafosfato y polifosfato por calentamiento de una mezcla de urea (89.2% molar) $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (8.1% molar) y desoxitimidina (2.7% molar) a 100°C . y en una atmósfera de nitrógeno seco ($^\circ$).

Tiempo	P_2	P_3	P_3'	P_n (n = 5)
	(% del fosfato inicial total)			
6h	3.5	-	-	-
12h	14	-	-	-
24h	33	8	-	-
48h	4	3	18.5	16
96h	5	4	23	20

($^\circ$) La timidina dio 9%, 7% y 5.5% de P_3' después de 2, 3 y 5 días.

NOTA.- P_3' significa trimetafosfato.

En estos experimentos se demostró también que en presencia de urea no es necesario el empleo de ortofosfatos ácidos o monobásicos ya que los ortofosfatos básicos y neutros como la hidroxiapatita y otros, dieron excelentes resultados calentados a temperaturas entre 65 y 100°C (107) y entre 85 y 115°C (*) (128). Simulando las condiciones de un desierto fue posible fosforilar la timidina a temperaturas de 65°C y aún menores (130). Por otra parte, el empleo de la estruvita ($MgNH_4PO_4 \cdot 6H_2O$) puso de manifiesto la importancia de los iones Mg en este tipo de reacciones. La presencia de Mg^{++} incrementa la formación de polifosfatos por un factor de 30 (131). También la fosforilación de nucleósidos - se logra con facilidad calentando estruvita u otros fosfatos pero en mezclas con la hidroxiapatita, que es uno de los minerales fosfatados más comunes; la reacción es más lenta pero de rendimiento aceptable (131). En la Tabla No.5 se resume el efecto de los iones Mg^{++} en la formación de enlaces P-O-P a 85°C.

TABLA No. 6.- Efecto del Mg^{++} sobre la formación del pirofosfato a partir de $(NH_4)_2HPO_4$ a 85°C. (131).

Tiempo (hrs.)	% Pirofosfato	
	con Mg^{++}	sin Mg^{++}
0.5	3.1	0.0
1	9.3	0.3
2	23.9	1.0
4	45.4	1.5
8	63.3	2.9
16	75.3	3.6
24	77.5	6.3
48	88.0	5.8

Si se descarta al Mg^{++} se estimula la esterificación de los nucleósidos en los grupos hidroxilos 2' y 3' más que la formación de pirofosfatos de nucleósidos, los cuales, como se sabe, tienen gran importancia en los procesos metabólicos.

(*) La temperatura de 115°C es la temperatura eutéctica de la mezcla de urea y dihidrogenofosfato de amonio ($NH_4H_2PO_4$), (v. supra, IV, 2.2.)

En todos estos trabajos se producen polifosfatos de mono o dinucleósidos cuando la proporción de fosfatos en la mezcla reactiva es mayor que la de los nucleósidos. Los productos más comunes son, en este caso: 5'-monofosfato de nucleósido (pN) (*), 5'-piro o difosfato de nucleósido (ppN), 3',5' ó 2',5'-difosfato de nucleósido (pNp), 3',5' ó 2',5'-difosfato de dinucleósido (NppN), 3',5' ó 2',5'-polifosfato de dinucleósido $[N(pp)_nN]$, 2',3'-ciclofosfato de nucleósido (Np'), 3',5'-difosfato de trinucleósido (un trinucleótido) (NpNpN) y algunos otros más. Asimismo se pudieron producir polifosfatos inorgánicos hasta con siete residuos de ortofosfato y más en esta línea de experimentación en condiciones prebióticas simuladas (128) (ver Tabla No. 5)

Debido a la importancia biológica que representan los 5-fosfatos de nucleósido merece mencionarse la síntesis de éstos en presencia de Mg^{++} bajo condiciones prebióticas supuestas (132), en condiciones muy similares a las anotadas arriba, es decir, en ausencia de urea. Para este fin, Lohrman (132) utilizó monofosfatos de adenosina y de uridina y los fosfatizó con diversos trimetafosfatos (Tabla No. 7). Comparativamente con otros cationes metálicos, el Mg^{++} demostró la mayor efectividad catalítica para la formación de polifosfatos.

La incubación de soluciones concentradas de 5'-monofosfato de adenosina (pA) en presencia de iones Mg^{++} o Ca^{++} a 37°C mostró la incorporación de fosfatos en solución pero a una velocidad inferior que en medio semiseco o hidrofóbico (132) (Tabla No. 8). Cuando el Mg^{++} fue utilizado se formó primero 5'-tetrafosfato de adenosina (p_4A) que se hidroliza a trifosfato y pirofosfato (difosfato) y cuando se emplea Ca^{++} éste forma preferentemente 5'-difosfato de adenosina (p_2A) (133). Es notoria la eficacia del Mg^{++} en estado sólido, a la temperatura ambiente y con mínima humedad.

(*) N puede referirse a cualquiera de los nucleósidos, incluyendo desoxirribonucleósidos, de adenina (A), guanina (G), citosina (C), uracilo (U) y timina (T).
 (132) R. Lohrman (1975), J. Mol. Evol., 6, 237-252.

TABLA No.7.- Reacción en estado sólido del 5'-monofosfato de adenosina (AMP) [$B-^{14}C$] (*) con varios trimetafosfatos en presencia de Mg^{++} . (Proporción molar $pA:P_3O_9^{3-}:Mg^{++} = 1:2:5$) (132)

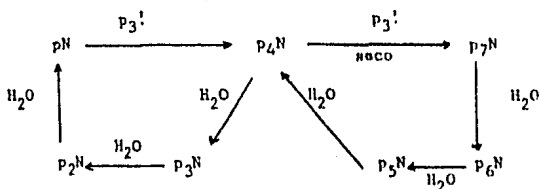
TIEMPO Y TEMPERATURA	5'-Polifosfato de adenosina	5'-Polifosfatos de adenosina producidos con:		
		$K_3P_3O_9$	$Na_3P_3O_9$	$(NH_4)_3P_3O_9$
1 día (temp. amb.)	pA	18.3	28.0	24.1
	P ₂ A	vestigios	-	-
	P ₃ A	1.4	vestigios	1.7
	P ₄ A	59.1	54.0	51.8
	P _{≥ 7} A	21.1	18.0	22.4
1 día (temp. amb.) + 1 h. (85°C).	pA	18.9	26.7	23.6
	P ₂ A	2.6	1.7	1.8
	P ₃ A	5.1	5.0	5.5
	P ₄ A	56.4	53.3	49.1
	P _{≥ 7} A	17.1	13.3	20.0

(*) [$B-^{14}C$] significa que se ha empleado AMP con carbono radiactivo (^{14}C) en el átomo número 8 del anillo heterocíclico de la adenina.

TABLA No.8.- Reacción del trimetafosfato de potasio ($K_3P_3O_9$) con 5'-monofosfato de adenosina ($B-^{14}C$) en presencia de iones de Mg^{++} y Ca^{++} en estado sólido comparado con aquellas en solución acuosa a pH 8.3, (proporción molar: $P_3^1:pA:Me^{++}=2:1:4$). (132).

CONDICIONES	Me^{++}	pA	P ₂ A	P ₃ A	P ₄ A	P _{≥ 7} A	P ₃ ¹ (sin reaccionar)
2 días en estado sólido temp. amb.	Mg	13.9	-	-	68.4	17.7	15.7
	Ca	89.3	1.7	1.1	7.8	-	81.0
2 días en H ₂ O 37°C	Mg	83.5	-	1.6	14.8	-	65.8
	Ca	90.0	8.5	1.5	vestigios	-	74.5
4 días en H ₂ O 37°C	Mg	68.9	vestigios	7.6	18.5	5.0	53.0
	Ca	82.8	12.0	3.8	1.5	-	68.6
9 días en H ₂ O 37°C	Mg	53.6	7.1	16.7	16.7	vestigios	31.0
	Ca	74.6	19.6	3.5	2.3	-	44.5

A juicio de Lohrman, es totalmente posible que los tetrafosfatos de nucleósid⁶ pudieran haber servido como fuentes de energía o como biomoléculas activadas en la síntesis de ARN ó ADN de los organismos primitivos (132) (*). Lohrman, además, propone el siguiente esquema de interconversión de polifosfatos de nucleósid⁶:



Como se ha visto, el trimetafosfato se ha producido en diversos experimentos en condiciones prebióticas simuladas, por lo que resulta factible su empleo en los experimentos de Lohrman. La preferencia al uso de trimetafosfato en estos trabajos obedeció a que los fosfatos inorgánicos y los polifosfatos de cadenas cortas forman precipitados insolubles en presencia de cationes metálicos di y polivalentes en tanto que los trimetafosfatos no (132). Sin embargo, parece que los tetrametafosfatos serían más plausibles en esas condiciones dada su mayor estabilidad ante la hidrólisis (113, 114). Asimismo, se prefirió el empleo de monofosfatos de nucleósidos (nucleótidos), porque la reacción entre trimetafosfatos y fosfatos inorgánicos en presencia de Mg^{++} es mucho menos eficaz (132).

La condensación de fosfatos en medio acuoso se ha logrado de dos maneras: calentando a altas temperaturas soluciones concentradas de ortofosfatos monobásicos o ácidos (principalmente H_3PO_4), o empleando agentes condensantes a temperatu

(*) Más adelante se volverá sobre este punto.

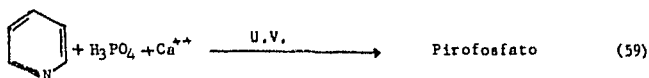
ras moderadas o a la temperatura ambiente. La primera fue desarrollada por Schwartz y Ponnamparuma (133, 134). Calentando a 160 y 163°C, estos investigadores pudieron producir polifosfatos y pirofosfatos diversos y con ellos obtuvieron nucleótidos a partir de bases púricas y pirimídicas o a partir de nucleósidos, (en otros trabajos, Ponnamparuma y colaboradores encontraron que los nucleósidos se forman preferentemente en presencia de compuestos fosforados (78, 123, 135) cuando se emplea la irradiación ultravioleta). Los mejores resultados en la fosforilación se obtuvieron con los fosfatos monobásicos o ácidos (especialmente el H_3PO_4), y los polifosfatos complejos como la sal de Graham.

Los agentes condensantes más variados han sido empleados por diferentes autores desde hace más de diez años. Entre dichos condensadores figuran el cianato (CNO^-) (136,137), la cianamida y su dímero la dicianidamida (22, 80, 138), el cianógeno (137,139), formamida (140), cianocetileno (a través del cianovinilo) (141), carbodíimida (137,142), y otros. También resultan adecuados como agentes condensantes en este tipo de procesos algunos compuestos heterocíclicos como la piridina (80) y el imidazol (142).

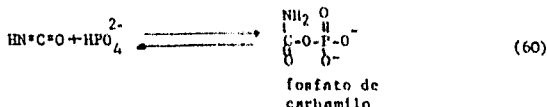
Los agentes arriba mencionados poseen una alta energía libre de hidrólisis la cual suministrada al sistema reactivo permite la condensación al mismo tiempo que remueven el agua de constitución de las sustancias reaccionantes. Algunos de estos compuestos condensadores absorben la energía del exterior y su -

-
- (133) A.W. Schwartz y C.Ponnamparuma (1968), Nature, 218, 443.
(134) A.W. Schwartz y C.Ponnamparuma (1971), en: A.P. Kimball y J. Oró eds. (1971), op. y ed. cit. (126), pp. 78-82.
(135) C.Ponnamparuma, R. Mariner y C. Sagan (1963), Nature, 198, 1199-1200.
(136) S.L. Miller y M. Parris (1964), Nature, 204, 1248-1250. Reproducido en: A.P. Kimball y J. Oró, eds. (1971), op. y ed. cit. (126), pp. 83-88.
(137) R. Lohrman y L.W. Orgel (1968), Science, 161, 64-65.
(138) G. Steinman, R. Lemmon y M. Calvin (1964), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 52, 27-30.
(139) A.W. Schwartz, M. van der Veen, T. Binseling y G.J.F. Chittenden (1973), Bio Systems, 5, 119-122.
(140) A.M. Schoffstall (1976), Origins of Life, 7, 399-412.
(141) J.P. Ferris (1968), Science, 161, 53-54.
(142) A.W. Schwartz (1972), Biochim. Biophys. Acta, 281, 477-480.

excitación provoca luego la reacción condensante. Tal es el caso de la piridina que absorbe la luz ultravioleta y de ese modo cataliza la formación de pirofosfato a partir de ácido fosfórico en presencia de iones cálcicos (80):

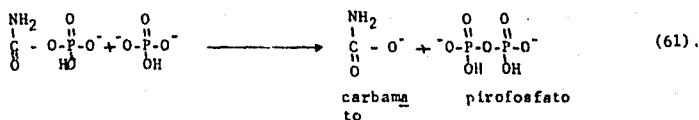


La formación de enlaces P-O-P mediante compuestos de alta energía libre de hidrólisis tiene gran importancia desde el punto de vista de la evolución química, pues se realizan en medio acuoso. Miller y Parris (1964), pudieron producir pirofosfato a partir de hidroxiapatita sintética en presencia de cianato de potasio (KCNO). La posibilidad de que el cianato de potasio pudiera estar presente en el ambiente prebiótico terrestre queda de manifiesto en algunos experimentos con descargas eléctricas. El cianato puede considerarse el producto de la hidrólisis parcial del cianógeno (NC-CN). Además del pirofosfato se obtuvieron pequeñas cantidades de trifosfato. En este caso, el pirofosfato obtenido es insoluble pues es pirofosfato de calcio ($\text{C}_2\text{P}_2\text{O}_7$). La reacción parece producirse sobre la superficie de la hidroxiapatita lo cual concuerda con los trabajos de Neuman y su equipo (143, 144). De estos últimos trabajos se desprende la posibilidad de fosforilaciones y condensaciones en la superficie de las apatitas de acuerdo con las ideas de J.D. Bernal (105, 106) y no se realizarían en solución. El mecanismo que Miller y Parris propusieron para la síntesis de pirofosfato es el siguiente:



(143) F.G. Burton, M.W. Neuman y W.F. Neuman (1969), *Curr. Mod. Biol.*, **3**, 20-26

(144) M.W. Neuman, W.F. Neuman y K. Lane (1970), *Curr. Mod. Biol.*, **3**, 253-269 y 277-283.

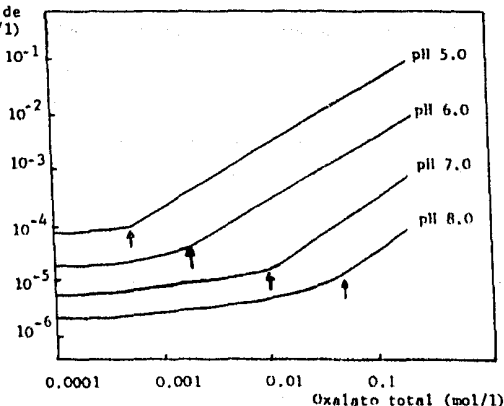


El compuesto intermediario sería entonces el fosfato de carbamilo (carbamilfosfato), que ha sido detectado en las reacciones de condensación de fosfatos en condiciones hipohidrosas (107). El carbamato sería hidrolizado hasta CO_2 y NH_3 (136).

En este contexto es de gran interés la línea de experimentación adoptada por Schwartz y sus colaboradores en los últimos años. El señala que el problema crítico no parece ser el encontrar necesariamente un agente activador (o condensante) específico, sino hallar un modelo geológico razonable que satisfaga dos requisitos básicos: (1) una concentración suficiente del agente activador y, (2) disponibilidad simultánea de fosfato para la activación (142). A tono con esto, Schwartz sugiere la necesaria solubilización (o protonación), de las apatitas, que constituyen los minerales casi únicos del fósforo en nuestro planeta. Desde 1971 Schwartz ha planteado que las sales de ácidos dicarboxílicos podrían ser las responsables de la solubilización de las apatitas, especialmente del ácido oxálico. De esta forma se facilitaría la condensación de los fosfatos y la fosforilación de los nucleótidos y otros compuestos (139, 142, 145, 146, 147, 148). En la gráfica 2 y en la tabla No. 9 se resumen algunos de los resultados más importantes obtenidos por Schwartz :

- (145) A.W. Schwartz (1971), en: R. Buvat y C. Ponnampetuma, eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 207-215.
- (146) A.W. Schwartz y H. Deuss (1971), en: A.W. Schwartz, ed. (1971), Theory and Experiment in Exobiology, ed. Wolters-Noordhoff Publ., Groningen, vol. 1, pp. 73-81.
- (147) A.W. Schwartz (1972), en: L. Rohlfing y A.I. Oparin eds. (1972), Molecular - Evolution, Prebiological and Biological, ed. Plenum Press, Nueva York, pp. 129-140.
- (148) A.W. Schwartz (1974), en: K. Dose, S.W. Fox, et al. eds. (1974), op. y ed. cit. (45), 435-443.

Concentración de Fosfato (mol/l)



GRAFICA No. 2.- Solubilidad de la fluorapatita en presencia de varias cantidades de oxalato. Las flechas indican el punto de saturación alcanzado - por el oxalato de calcio en cada pH (145).

TABLA No. 9.- Fosforilación de uridina por apatita y oxalato de amonio (142).

AGENTE CONDENSANTE	OXALATO	UNIT (%) PRODUCIDO	UNIT PRODUCTOS RELATIVOS (5'/2'+3')	PRODUCTOS (a) SUPERIORES (%)
Diciandiamida	-	0	-	0
Cianamida	-	0	-	0
Urea	-	0	-	0
Imidazol	-	0	-	0
Carbodiimida (c)	-	0	-	0
Cianato	-	0	-	0
Ninguno	-	0	-	0
Diciandiamida	+	18	80/20	8
Cianamida	+	21	76/24	5
Urea	+	14	76/26	2
Imidazol	+	14	63/37	0.5
Carbodiimida	+	10	52/48	0
Cianato	+	9	56/44	0
Ninguno	+	3	51/49	0

a) Los productos están basados en la cantidad de uridina inicial.

b) El límite inferior del producto detectado fue 0.1%.

c) 1-Etil-3 (3-dimetilaminopropil) carbodiimida-HCl.

Como puede verse la concentración del fosfato soluble se incrementa con forme aumenta la concentración del oxalato de amonio, dependiendo del pH. Cuando se alcanza el punto de saturación del oxalato de calcio se nota un cambio de concavidad en la curva. Esto obedece a que el oxalato de amonio forma complejos insolubles con el Ca^{++} ; así, este catión es removido de la solución lo cual permite la solubilización del fosfato (gráfica No. 7). Esto puede suceder en condiciones de mínima concentración por lo que esta esquema resulta plausible en el contexto de la evolución química prebiológica. En la Tabla No. 9, se ve que la fosforilación de la uridina se logra mas bien debido a la concentración del fosfato soluble gracias a la presencia de oxalato, que a la acción de distintos agentes condensantes. En todas las fosforilaciones hay un franco predominio de los 5'-fosfoésteras sobre los 2' y 3', en los nucleótidos formados bajo estas condiciones (Tabla No. 9).

De cualquier manera, la evaporación jugaría aquí un papel clave a juicio de Schwartz (139, 142, 145, 148), lo cual se articula con las apreciaciones de Osterberg, Orgel, Lohrman y otros (supra), derivadas de su enfoque experimental (107, 128-132). Asimismo, las ideas de Schwartz respecto del oxalato guardan cierto paralelismo con aquéllas de Handschuh, Lohrman y Orgel acerca del papel del Mg^{++} en la prevención de la precipitación directa de la hidroxiapatita (131, 132, 149, 150). (supra).

3.2. SINTESIS DE POLIPEPTIDOS.

Los polipéptidos y oligopéptidos son los biopolímeros que menos dificultades han presentado para ser sintetizados en condiciones supuestamente prebióticas; la policondensación de los aminoácidos se ha efectuado en medio anhidro o -

(149) G.J. Handschuh y L.E. Orgel (1973), *Science*, 181, 582.

(150) L.E. Orgel (1974) en: K. Dose y S.W. Fox, eds. (1974), op. y ed. cit. (45), pp. 369-371.

hipohidroso y en medio acuoso con agentes condensantes. En ambos se han empleado también con frecuencia minerales de diverso tipo (arcillas o apatitas), para efectuar condensaciones en fase sólida.

3.2a. PIROCONDENSACION DE AMINOACIDOS.

Esta es uno de los métodos más empleados para sintetizar polipéptidos u oligopéptidos. Esta línea de experimentación ha sido desarrollada por varios investigadores, encabezados por Sidney W. Fox. En términos generales consiste en el calentamiento de una mezcla de α -aminoácidos por encima de 100°C durante varias horas; de este modo se remueve el agua de constitución y, desde luego, el agua en que pudieran estar disueltos.

En realidad este enfoque forma parte de toda una teoría de Fox sobre el origen de la vida, que puede denominarse Teoría Térmica de la Biogénesis, en la cual Fox y sus colaboradores consideran tres etapas esenciales: 1) formación térmica de aminoácidos a partir de una atmósfera primitiva de carácter reductor, --- 2) síntesis de polipéptidos o proteinoideas por pirocondensación de aminoácidos, - y, 3) formación de microsistemas polimoleculares proteinoidea denominados microsferas, que serían las estructuras precursoras de las protocélulas.

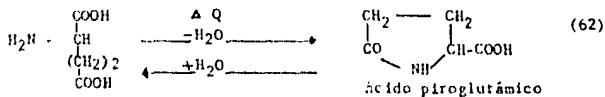
La simplicidad de este método para producir péptidos ha provocado la proliferación de los experimentos en esta línea.

El eje sobre el cual han gravitado las ideas centrales de Fox y sus colaboradores es, por una parte, la barrera termodinámica que significa la presencia del agua en las policondensaciones, y por otra parte, el hecho de que las reacciones de policondensación de aminoácidos (biosíntesis proteica), se realiza en sistemas hipohidrosos propiamente, como en el caso de las células contemporáneas (ribosomas y retículo endoplásmico), por lo que "ni el modelo para la síntesis pre-

biótica ni nuestro concepto del organismo contemporáneo -nos dicen Fox y Dose- son consistentes con la postulación de un medio acuoso diluido' (8, pp.142-143). Estas ideas comenzaron a ser desarrolladas por Fox en 1954 pero adquirieron su forma definitiva entre 1957 y 1960 (151-154).

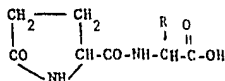
Los aminoácidos, en general, tienen un elevado punto de fusión que nunca alcanzan, pues antes de llegar a él se descomponen y se carbonizan (155). Fox y sus colaboradores evitan esto calentando previamente ácido glutámico a 175-180°C hasta que funde y luego agregan los demás aminoácidos, manteniendo la temperatura a 180°C durante 3 a 5 horas. En este caso las proporciones de ácido glutámico y ácido aspártico predominan sobre las del resto de los aminoácidos de la mezcla reactiva. Esta proporción puede ser 2:2:1 (2 partes de ácido glutámico, 2 partes de ácido aspártico y una parte de todos los 16 aminoácidos esenciales restantes), o bien se emplea una mezcla equimolecular (1:1:1) (8, 153, 154). Resultados similares se alcanzan con la leña, en vez del ácido, en proporción equimolecular con los demás aminoácidos (8).

El ácido glutámico tiene dos funciones fundamentales en estas operaciones: una vez fundido disuelve a los otros aminoácidos que se le añaden facilitando con ello la interacción de las moléculas, y la remoción del agua constitutiva de los aminoácidos reaccionantes consolidando así su condensación. Al fundirse el ácido glutámico forma un anhídrido o lactama (el ácido piroglutámico):



- (151) S.W. Fox (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pasynskii, et al, eds. (1959), op. y ed. cit. (2), pp. 256-262.
 (152) S.W. Fox y K. Harada (1958), Science, 128, 1214.
 (153) K. Harada y S.W. Fox (1958), J. Am. Chem. Soc., 80, 2694-2697.
 (154) S.W. Fox y K. Harada (1960), J. Am. Chem. Soc., 82, 3745-3751.
 (155) E.E. Conn y P.K. Stumpf (1976), Outlines of Biochemistry, ed. John Wiley and Sons, Nueva York, p. 79.

El ácido piroglutámico actúa catalíticamente removiendo el agua resultante de la formación de enlaces peptídicos o imídicos (8,22,153). Asimismo, puede ser el iniciador de la cadena proteínica al reaccionar su carboxilo libre con cualquier grupo amino de los aminoácidos presentes en la mezcla:



dejando así otro carboxilo libre, susceptible al ataque de otro grupo amino (156). El papel que puedan jugar el ácido aspártico y la lisina probablemente sea parecido al anterior.

Posteriormente, Fox y sus colaboradores han demostrado que se pueden obtener los mismos resultados con proporciones mucho menores de ácido glutámico, ácido aspártico y lisina (157-160), produciéndose de este modo proteinoides neutros. Así, la proporción puede ser 2:2:3, de ácido glutámico, ácido aspártico y de los demás aminoácidos, respectivamente.

Por otra parte, se ha podido disminuir la temperatura para sintetizar - proteinoides mediante el uso de ácido fosfórico (154), o de polifosfatos (161, - 162), calentando las muestras a 100 y 60°C, respectivamente. Resultados similares se obtienen con el ácido piro-sulfúrico ($\text{H}_2\text{S}_2\text{O}_7$), a 80°C (163). Asimismo, Rohlfsing ha pirocondensado aminoácidos a temperaturas inferiores a los 100°C, prolongando el calentamiento hasta 81 días. En este caso las temperaturas de -

(156) G. Bisert y P.A. Finot (1967), en: J.A. Thomas, ed. (1967), Biogenesis, ed. Masson et Cie., París, pp. 278-298.

(157) S.W. Fox (1969), Naturwissenschaften, 56, 1-9.

(158) S.W. Fox y T.V. Wachmelt (1968), Biochim. Biophys. Acta, 160, 246-249.

(159) D.L. Rohlfsing (1967), Nature, 216, 657-679.

(160) T. Oshima (1968), Arch. Biochem. Biophys., 126, 478-485.

(161) K. Harada y S.W. Fox (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit., (62), pp. 289-297.

(162) K. Dose y H. Raufuss (1972), en: L.D. Rohlfsing y A.I. Oparin, eds. (1972), op. y ed. cit. (145), pp. 199-217.

(163) F. Denes y S.W. Fox (1976), BioSystems, 8, 83-88.

los experimentos fueron de 65, 75 y 80°C (164).

También puede incrementarse el rendimiento de las reacciones de pirocondensación de aminoácidos por el empleo de algunos materiales sólidos, tales como lava volcánica finamente dividida (165), sales del agua de mar (preparada en el laboratorio) (166), y arena marina estéril (167), en diversas proporciones. Estas reacciones, sin embargo, se han llevado a cabo a temperaturas superiores a los 100°C. En el caso de la pirocondensación con sales marinas, el proceso se realiza por calentamiento a 180 y 190°C durante 7 horas, comenzándolo en fase acuosa. La misma reacción a 80°C durante 12 días sólo produce pequeñas cantidades de proteínoides (166). La producción de estos polímeros también se ha conseguido con aminoácidos no presentes en las proteínas naturales (no proteínicos), como los producidos en los experimentos en condiciones simuladas, o como los hallados en las condritas carbonosas o en los hidrolizados de muestras lunares y de las mismas condritas (168). De igual modo, los aminoácidos no proteínicos mezclados con los proteínicos dan resultados similares (169).

Las reacciones de pirocondensación no parecen ser afectadas por la composición química de diversas atmósferas simuladas, incluso aquéllas con oxígeno, como la actual de la Tierra (170). Presiones tan bajas como $0.2 \text{ ó } 10^{-4}$ atmósferas aumentan significativamente el porcentaje del producto obtenido, sobre todo cuando se emplean aminoácidos no proteínicos (170).

En cuanto a la estructura de los proteínoides, parecen coexistir enlaces laterales, raros en las proteínas verdaderas, con enlaces peptídicos (de ahí el nombre de proteínoides dado por Fox y sus colegas) (8, pp.147-150), como, por -

(164) D.L. Rohlifing (1976), Science, 193, 68-70.

(165) S.W. Fox (1964), Nature, 201, 336-337.

(166) W.D. Snyder y S.W. Fox (1975), BioSystems, 7, 222-229.

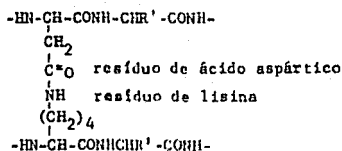
(167) D.L. Rohlifing y W.W. Mc. Alhanev (1976), BioSystems, 8, 139-145.

(168) M.A. Saunders y D.L. Rohlifing (1972), Science, 176, 172-173.

(169) M.A. Saunders y D.L. Rohlifing (1974), BioSystems, 6, 81-92.

(170) C.E. Fouché y D.L. Rohlifing (1976), BioSystems, 8, 57-65.

ejemplo, el enlace transversal entre un residuo de ácido aspártico y uno de lisina:



Prácticamente todos los α -aminoácidos son incluidos en los enlaces de los proteínoides, aunque la serina, la treonina y la cistina sólo pueden hacerlo cuando la pirocondensación se logra a temperaturas menores a los 130°C, pues a mayor temperatura estos aminoácidos sufren pirólisis (8, 162).

La existencia de enlaces peptídicos en los proteínoides se ha deducido a partir de las pruebas de coloración para las proteínas, como la de biuret, así como de su hidrólisis por algunas enzimas proteolíticas y el análisis espectral en el infrarrojo (8). Pero cabe destacar que la velocidad de hidrólisis de estos proteínoides por enzimas proteolíticas es, en general, considerablemente menor que en las proteínas naturales (6), seguramente debido a la presencia de enlaces laterales y no peptídicos que le dan a la molécula una estructura más o menos ramificada (8, 158, 162). Esto es especialmente cierto cuando predomina la proporción de aminoácidos alcalinos o ácidos (8, 158, 171, 172). El peso molecular de estos proteínoides es, en promedio, de 3000 a 10,000 (8, 154, 158), lo cual los asemeja al peso molecular de algunas proteínas, como la insulina (8, 153, 154, 158).

El mayor énfasis de la escuela de Fox se ha puesto sobre las propiedades-

(171) S.W. Fox y P. Suzuki (1976), BioSystems, 8, 40-44.

(172) K. Harada y S.W. Fox (1975), BioSystems, 7, 213-221.

catalíticas de los proteínoides térmicos (8,154, 157-160, 173-178), las cuales pueden ser consideradas como cualidades de tipo protoenzimático (8). Los tipos de reacciones catalíticas realizadas por los proteínoides térmicos de Fox son: hidrólisis, descarboxilación, aminación, desaminación y peroxidación (8, pp. 167-171). Esta última ha sido especialmente estudiada por Dose (173, 174,176), - que ha incorporado grupos hemo a los proteínoides (hemoproteínoides), los cuales catalizan la descomposición del peróxido de hidrógeno de manera similar a como lo hace la catalasa. Es probable que el peróxido de hidrógeno se haya formado en la hidrósfera primitiva por efecto de la luz ultravioleta, y este peróxido (H_2O_2), podría oxidar, a través de la catálisis de hemoproteínoides, a diversos substratos orgánicos (8, 173). Cabe señalar que la catálisis mostrada por los proteínoides térmicos es bastante menor, comparativamente, con aquélla de las enzimas naturales, pues mientras las enzimas aceleran las reacciones químicas metabólicas - de 10^6 hasta 10^{11} veces, los proteínoides las aceleran 10^2 ó 10^4 veces a lo sumo (175), y conservan esta propiedad después de 5 ó 10 años (177).

Por otra parte, Fox y sus asociados han insistido reiteradamente en que la secuencia de los residuos de aminoácidos en sus proteínoides no está establecida al azar; por lo tanto, la estructura de éstos no es desordenada, sino que - está determinada por la naturaleza estereoquímica y por la configuración electrónica de los aminoácidos individuales (8). Esta opinión coincide con la de Steinman (22) (v. infra). Este hecho es denominado por Fox y Dose (8), heterogeneidad limitada de los proteínoides. Tomando en consideración todo lo antedicho, -

(173) K. Dose (1971), en: A.W. Schwartz, ed. (1971), op. y ed. cit. (146), vol. 1 pp. 41-71

(174) K. Dose y L. Zaki (1971), en: R. Buvet y C. Ponnampuram, eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 263-275.

(175) A. Wood y H. Hardebeck (1972), en: D.L. Rohlifing y A.I. Oparin, eds. (1971), op. y ed. cit. (147), pp. 233-245.

(176) K. Dose (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (47), pp. 239-252.

(177) D.L. Rohlifing (1970), Science, 162, 998-1000.

(178) L.L. Shook y D.L. Rohlifing (1972), Curr. Mod. Biol., 2, 43-47.

y las propiedades semejantes entre los proteinoides térmicos y las proteínas naturales (cualidades catalíticas, nutritivas, hormonales, peso molecular relativamente elevado, presencia de enlaces peptídicos amén de otros, etc.), Fox y sus colaboradores llegan a la hipótesis de que las protoenzimas o protoproteínas no precisaron de la codificación a través de una plantilla de ácido nucleico o de un polinucleótido, como sucede hoy en día (8, 157, 179, 180) (v. infra V).

El método y los argumentos de Fox et al., son muy sencillos y dan resultados satisfactorios, pero no han logrado convencer a muchos. Entre los principales detractores se cuenta a Miller y a Orgel. Estos autores piensan que "no existe ninguna evidencia para demostrar si los aminoácidos dentro de una cadena peptídica están altamente ordenados o no" (19, p. 144). Sin embargo, Miller y Orgel se ven envueltos en la ambigüedad del término "desorden". Además, no se puede pasar por alto el aspecto estereoquímico ni electrónico respecto a la síntesis abiótica de compuestos poliméricos, como estos proteinoides. Una crítica más firme es la aparecida en un artículo reciente (181), que señala en base a estudios espectroscópicos de resonancia magnética nuclear (rmn), que los proteinoides térmicos de Fox presentan en la realidad muy pocas semejanzas con las proteínas naturales, debido a que en aquellos predominan demasiado los enlaces β, γ y ϵ , sobre los enlaces peptídicos. De acuerdo con estos estudios, la formación de enlaces peptídicos (o enlaces α), son la excepción, más que la regla, en el caso de los proteinoides térmicos (181). Con todo, la crítica más frecuente y sin duda la más sólida a las ideas de Fox, es de tipo metodológico: la producción de estos compuestos estaría circunscrita a las zonas volcánicas activas. Miller y Orgel hacen notar que la temperatura de la lava fundida es de 1200°C, suficiente para producir la pirólisis completa de cualquier aminoácido; al solidificar esa

(179) S.W. Fox (1973), Naturwissenschaften, 60, 359-368.

(180) S.W. Fox (1975), BioSystems, 7, 22-36.

(181) P.A. Tomassi, L. Paolillo, L. Ferrara, E. Benedetti y S. Andini (1976), J. Mol. Evol., 7, 105-110.

lava, la temperatura de su superficie es semejante a la del aire. Por lo tanto, "sólo los huecos o hendiduras por rompimiento o retracción de la lava podrían - ser los sitios de pirocondensación " (119). Por otro lado, se presenta el problema del acarreo de los aminoácidos hasta la zona volcánica adecuada y, después, - la remoción oportuna y apropiada de los péptidos formados (119). En consecuencia, estos procesos no parecen haber tenido gran relevancia en la evolución química prebiótica, aunque, claro está, no se descarta su participación en ella.

3.2b.- CONDENSACION DE AMINOACIDOS EN FASE ACUOSA.

Un enfoque diametralmente opuesto al de Fox y sus colaboradores lo constituye la formación de péptidos en medio acuoso, en presencia de agentes condensantes adecuados. Este enfoque fue principalmente desarrollado por Stehman, Kenyon, Calvin y Lemmon (22,80,182). Los agentes condensantes empleados para estos fines son: la cianamida (138, 183,184), la diciandiamida (185) y la dicianamida (186). Exceptuando el experimento de Ponnampuruma y Petterson (184), no hace falta añadir energía al sistema para producir la condensación de los aminoácidos en presencia de cianamida, o de cualquiera de los otros agentes mencionados (v. supra, IV,3).

La cianamida quizá pudo formarse por la acción de la luz ultravioleta o por el bombardeo de electrones sobre soluciones acuosas de cianuro de hidrógeno (ácido cianhídrico), y amoníaco (183)(*):



(182) R.M. Lemmon (1970), Chem.Rev., 70, 95-109. Reproducido en: C.C.Charles, ed. (1974), Synthesis of Life, ed. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, pp. 18-32; y en: K.A. Kvenvolden, ed. (1974), op. y ed. cit. (24), pp. 33-47.

(183) A. Schimpl, R.M. Lemmon y M. Calvin (1965), Science, 147, 149-150.

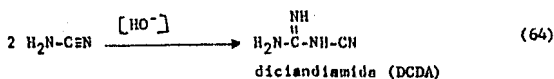
(184) C. Ponnampuruma, y E. Petterson (1965), Science, 147, 1572-1574.

(185) G. Steinman, R.M.Lemmon y M. Calvin (1965), ibid., 1574-1575.

(186) G. Steinman, D.A. Kenyon y M. Calvin (1966), Biochim. Biophys. Acta, 124, 339-350.

(*) La cianamida fue propuesta originalmente por J.Oró (1963). Ann. N.Y. Acad. Sci., 464-481.

La cianamida se dimeriza fácilmente en medio alcalino formando diciandiamida (22, 80, 183, 185):



Tanto la cianamida como la diciandiamida requieren de un pH bajo (~ 2), para poder actuar como condensantes (138, 185). Lo mismo puede decirse de la dicianamida (NC-NH-CN), aunque esta substancia resulta ser un condensante más efectivo, - pues en condiciones semejantes produjo 3 veces más dipéptido que la diciandiamida (DCDA). Por otra parte, la dicianamida resulta más estable ante la hidrólisis que la cianamida y la diciandiamida (DCDA), en condiciones alcalinas neutras (187). En un experimento típico, Steinman, Kenyon y Calvin sintetizaron diglicina, triglicina y tetraglicina a partir de una solución acuosa de dicianamida sódica (*) y glicina marcada radiactivamente (^{14}C), en medio ácido (pH de 1.4 a 2.6), y a la temperatura ambiente (186). Las concentraciones de los reactivos - variaron de 0.005M. a 0.2 M., de manera independiente. Los resultados de estos experimentos se resumen en la gráfica 3.

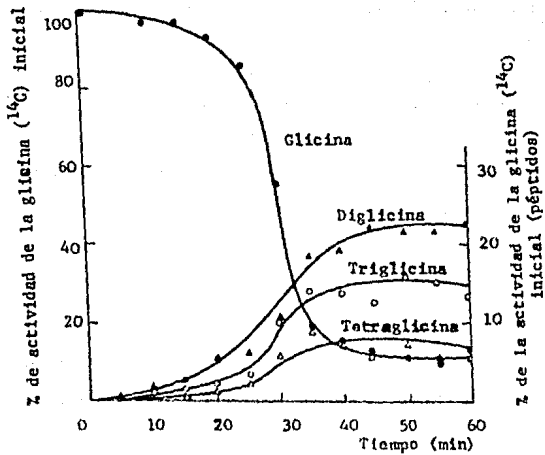
Como se puede advertir en la gráfica 3, el porcentaje de los productos decrece a medida que aumenta el número de residuos de aminoácidos en la molécula. Resultados similares se obtienen con otros aminoácidos, como la alanina (188).

Tanto la dicianamida (DCA), como la diciandiamida (DCDA), y la cianamida, pueden adoptar la estructura de una carbodiimida que viene a ser una forma tautomérica de aquéllas. La fórmula estructural general de las carbodiimidas se puede representar así: $\text{R}-\text{N}=\text{C}=\text{N}-\text{R}'$. Donde R y R' son radicales orgánicos o hidrógeno. Por ende, la cianamida puede tener dos representaciones principales:

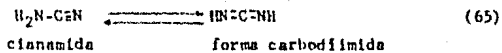
(187) G. Steinman y A.A. Capolupo (1969), Curr. Mod. Biol., 2, 295-297.

(*) Se empleó la dicianamida de sodio porque la dicianamida, como tal, no se ha podido aislar.

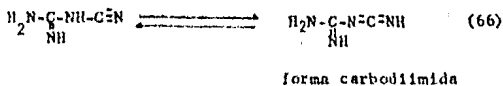
(188) G. Steinman, D.H. Kenyon y M. Calvin (1965), Nature, 206, 707-708.



Gráfica No. 3.- Velocidades de utilización de la glicina y de acumulación de polipeptido en una solución que contiene inicialmente glicina ($2\text{-}^{14}\text{C}$) a $0,005\text{M}$ y HCl a $0,1\text{M}$. La diclanamida de sodio (en solución acuosa $0,1\text{M}$) fue añadida a la mezcla de reacción gota a gota por medio de una bureta a una velocidad de $0,68 \text{ mg/min}$. durante una hora. Las muestras fueron retiradas periódicamente y analizadas por electroforesis en papel. (187).



Igualmente la dicianamida (DCDA) :

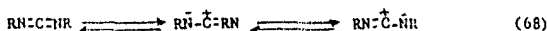


y la dicianamida:

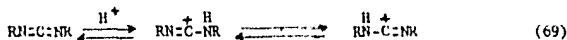


Las carbodiimidas se caracterizan por ser muy reactivas. Desde hace tiempo se ha empleado en la química sintética a las dialquilcarbodiimidas en soluciones no acuosas, como la diciclohexilcarbodiimida, para sintetizar algunos polipéptidos y polinucleótidos (95) a partir de sus biomonomeros. En consecuencia, se puede explicar el mecanismo de las reacciones de condensación realizadas por los autores referidos con base en la forma carbodiimida de los agentes condensantes empleados, tal como fue expuesto por Khorana en 1955 (189).

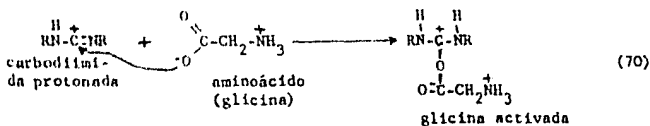
El carbono de la carbodiimida tiene carga parcial positiva debido a la deslocalización de los electrones y a su enlace con dos átomos de nitrógeno que son más electronegativos que él, los cuales a su vez tienen una carga parcial negativa:



La acidificación del medio (suministro de protones: H^+), contribuye principalmente a la formación de la estructura del agente condensante real, dando como resultado un carbono central aún más electrofílico (189) :

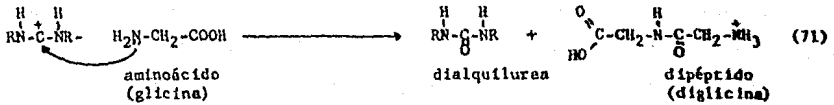


Por tanto, dicho carbono se hace más susceptible al ataque de un nucleófilo, como el extremo carboxilo de un aminoácido, de la siguiente manera (189) :

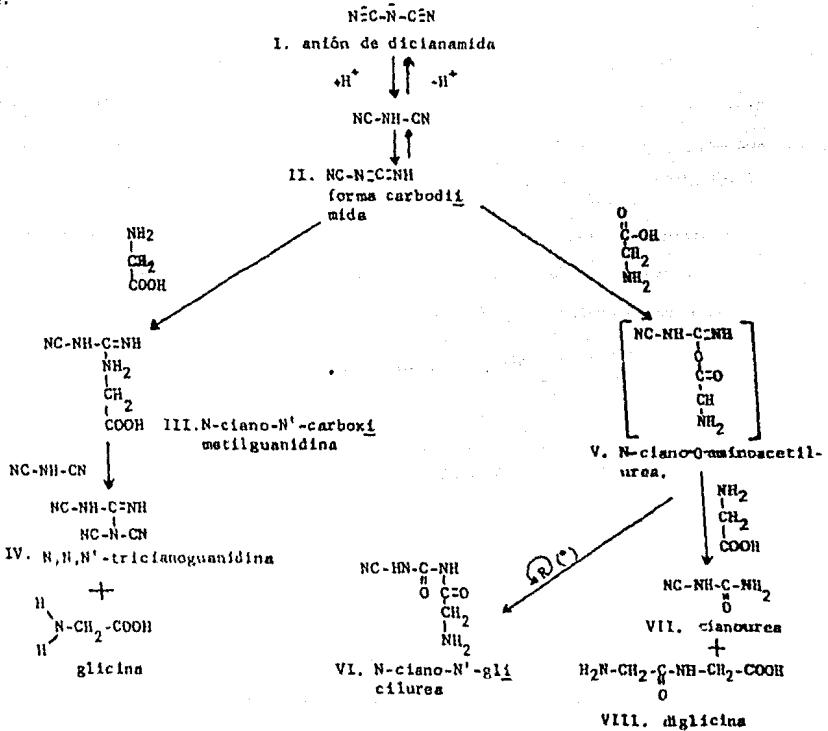


De este modo el carbono del carboxilo se torna más positivo, es decir más electrofílico, lo cual facilita el ataque de un nucleófilo que puede ser el agua, o por un grupo amino de un segundo aminoácido para formar un dipéptido y una carbodiimida hidrolizada (189):

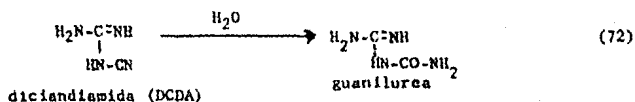
(189) J. Hulshof y C. Ponnamparuma (1976), Origins of Life, 7, 197-224.



De otra parte, el mecanismo de reacción propuesto por Steinman, Kenyon y Calvin (186), concretamente con la dicianamida, se esquematiza de la manera siguiente:



En el esquema anterior se ve claramente que la forma activa de la dicianamida es la carbodiimida (186). Esta forma se adquiere después de acidificar fuertemente la solución que contiene la dicianamida la cual, a su vez, tiene carácter ácido (por ello se forma el anión I). El compuesto IV que es un dímero de la dicianamida no es activo para la condensación (187), ésta sería entonces una vía muerta para la síntesis de péptidos y en la que provoca la disminución de la velocidad de condensación peptídica (vía hacia el compuesto V, inestable)^(*) de manera brusca (después de 10 minutos) (186). La vía importante desde luego es la que conduce a los compuestos V, VII y VIII. La cianourea (VII) es el resultado de la primera hidrólisis de la dicianamida, la cual puede sufrir una segunda hidrólisis para producir biuret: $\text{H}_2\text{N}-\text{CO}-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}_2$ y la consumación de otro enlace peptídico. A esto último se debe la ventaja que la dicianamida (DCA) ofrece sobre la dicianidamida (DCDA), pues ésta sólo se hidroliza una vez formándose guanilurea tal como se expresa en la ecuación que sigue:



La principal objeción a estos experimentos en el contexto de la evolución química es evidente: el pH tan bajo en el que ocurren los procesos de condensación difícilmente pudo presentarse en el escenario de la Tierra hace unos 4×10^9 años, a menos que se consideren determinadas regiones en las que las emanaciones volcánicas ricas en HCl, HF y H_2S tuvieran lugar y de ese modo suministraran la acidez necesaria para la realización de tales procesos. Pese a que los autores señalaron que era posible producir con facilidad cantidades detectables de diglicina a un pH neutro (186), no parece haber sido ésta una vía impor

(*) El compuesto V no pudo ser detectado pero se dedujo como el precursor lógico del VI (186).

tante para la evolución prebiológica por el escaso rendimiento de los productos en esas condiciones.

No obstante, existe algo en esta línea de investigación que merece ser destacado: el orden o secuencia de los residuos de aminoácidos en los péptidos - sintetizados en condiciones prebióticas simuladas es directamente influenciada por las interacciones de los aminoácidos vecinales (190). Por ende, la policondensación estaría regulada por las interacciones entre el miembro terminal del polímero y la unidad que está por ser incorporada al mismo (191). Hemos visto que son de esta misma opinión los miembros de la escuela de Fox (supra, IV, 3.2.a)

Para demostrar que ciertas secuencias de residuos de aminoácidos son preferidos sobre otros en los péptidos sintetizados abióticamente, se realizaron experimentos con fines comparativos que revelaron hechos muy interesantes. Por una parte se realizaron cálculos de las frecuencias relativas de dipéptidos en las cadenas polipeptídicas de algunas proteínas naturales, tales como: la lisozima del huevo, la ribonucleasa, la insulina ovina, la mioglobina de ballena, el citocromo C de levaduras, proteína del virus del mosaico del tabaco (VMT), β -corticotropina, glucagón, hormona estimulante del melanocito y el quimotripsinógeno. Por otro lado se llevaron a cabo síntesis de dipéptidos empleando principalmente la glicina y otros aminoácidos como reactivos y la dicianamida sódica como condensante. Tomando como unidad de la frecuencia de dipéptidos la unión glicina-glicina, se resumen los resultados en la Tabla No. 10.

En dicha tabla se nota que conforme las cadenas laterales de los residuos de los aminoácidos son más grandes, los valores relativos decrecen en ambos casos (191). Esto se puede explicar por un creciente impedimento estérico de las cadenas laterales de los aminoácidos, que afecta la reactividad relativa entre ellos

(190) G. Steinman (1971), en: A. P. Kimball y J. Oró eds. (1971), op. y ed. cit. (126), pp. 31-38.
(191) G. Steinman y M. N. Cole (1967), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 58, 735-742.

Tabla No. 10.- Comparación entre determinados dipéptidos producidos experimentalmente y su frecuencia calculada en algunas proteínas naturales (191).

Dipéptido(*)	Valores (en relación a Gly-Gly).	
	Experimental	Calculada
Gly-Gly	1.0	1.0
Gly-Ala	0.8	0.7
Ala-Gly	0.8	0.6
Ala-Ala	0.7	0.6
Gly-Val	0.5	0.3
Val-Gly	0.5	0.3
Gly-Leu	0.5	0.3
Leu-Gly	0.5	0.2
Gly-Ile	0.3	0.1
Ile-Gly	0.3	0.1
Gly-Phe	0.1	0.1
Phe-Gly	0.1	0.1

(*) Los dipéptidos están enlistados en términos de volumen creciente de las cadenas laterales de los residuos de aminoácidos constituyentes. Abreviaturas: Gly=glicina, Ala-alanina, Val=valina, Leu=leucina, Ile=isoleucina, Phe=fenilalanina, Gly-Ala=glicilalanina, etc.

(v. supra, IV, 3.2a). Es evidente, en la Tabla No. 10, que las diferencias entre los valores calculados y los experimentos no son tan disímiles como cabría esperar de una combinación al azar, es más, algunos son idénticos y hay cierto paralelismo en ambas frecuencias o reacciones al azar de los aminoácidos. "Si la asociación de los aminoácidos fuera completamente un evento al azar -nos dice Steinman- se puede advertir fácilmente que no habría suficiente masa en toda la Tierra, suponiendo que estuviera compuesta exclusivamente por aminoácidos, para producir dos moléculas de proteína de peso molecular bajo iguales en toda la posible secuencia de sus respectivas unidades individuales" (192). En otras condiciones, utilizando aminoácidos unidos a resinas como el poliestireno, los resultados son muy similares (192).

Partiendo de estos hechos, Steinman et al, suponen que los péptidos biológicamente importantes pudieron haberse producido en medio

(192) .G. Steinman (1967), Arch. Biochem. Biophys., 119, 76, 121, 553-439; citado por D.H. Kenyon y G. Steinman (1969), op y ed. cit. (22), pp. 206-207.

acuoso, sin la intervención de ácidos nucleicos o de agentes condensantes específicos para cada uno de los residuos de aminoácidos (191), tal como acontece en los procesos vitales contemporáneos. Por otra parte, también se demostró que la presencia de un polipéptido (poliglicina, en este caso), mejora la velocidad de síntesis de diversos de los aminoácidos (192) y, por lo tanto, Kanyon y Steinman (22) afirman que en la era prebiológica terrestre y en los primeros organismos vivientes, la condensación de los aminoácidos pudo ser dirigida por los propios péptidos producidos en dicho proceso. Este problema será tratado con mayor amplitud en el siguiente capítulo.

Cabe indicar, finalmente, que el peso molecular de las substancias peptídicas obtenidas por estos métodos es muy bajo en comparación a cualquiera de las proteínas naturales.

Otros agentes condensantes empleados para sintetizar péptidos en fase acuosa han sido: el diaminomaleodinitrilo, el tetrámero del cianuro de hidrógeno (193,194) (supra, IV 2.2), y los polifosfatos y polimetáfosfatos (195,196).

Ya se ha dicho (supra, IV 2.2), que el HCN se polimeriza fácilmente en el agua formando diaminomaleodinitrilo. Chang, Flores y Ponnameruma demostraron que este tetrámero del HCN condensa a la glicina hasta diglicina calentando la mezcla a 94°C a un pH ligeramente alcalino (8-9) o neutro (193). Resultados semejantes se obtienen cuando la mezcla reactiva está compuesta de aminoácidos (marcados con ^{14}C), disueltos en agua y una atmósfera de metano y amoníaco, a la cual se sujeta a descargas eléctricas (194). En este caso también pudo sintetizarse triglicina - además de la diglicina, aunque los porcentajes fueron bajos. El mecanismo sugerido

(193) S.Chang, J.Flores y C.Ponnameruma (1969), *Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A.*, **64**, 1011-1015

(194) J.J. Flores y C. Ponnameruma (1972), *J. Mol. Evol.*, **2**, 1-9.

(195) J.Rabinowitz, J.Flores, R.Krebsbach y A. Rogers (1969), *Nature*, **224**, 795-796.

(196) N.M.Chung, R.Lohrman, L.E. Orgel y J.Rabinowitz (1971), *Tetrahedron*, **27**, 1205-12.

acuoso, sin la intervención de ácidos nucleicos o de agentes condensantes específicos para cada uno de los residuos de aminoácidos (191), tal como acontece en los procesos vitales contemporáneos. Por otra parte, también se demostró que la presencia de un polipéptido (poliglicina, en este caso), mejora la velocidad de síntesis de dímeros de los aminoácidos (192) y, por lo tanto, Kanyon y Steinman (22) afirman que en la era prebiológica terrestre y en los primeros organismos vivos, la condensación de los aminoácidos pudo ser dirigida por los propios péptidos producidos en dicho proceso. Este problema será tratado con mayor amplitud en el siguiente capítulo.

Cabe indicar, finalmente, que el peso molecular de las sustancias peptídicas obtenidas por estos métodos es muy bajo en comparación a cualquiera de las proteínas naturales.

Otros agentes condensantes empleados para sintetizar péptidos en fase acuosa han sido: el diaminomaleodinitrilo, el tetrámero del cianuro de hidrógeno (193,194) (supra, IV 2.2), y los polifosfatos y polimetafosfatos (195,196).

Ya se ha dicho (supra, IV 2.2), que el HCN se polimeriza fácilmente en el agua formando diaminomaleodinitrilo. Chang, Flores y Ponnamparuma demostraron que este tetrámero del HCN condensa a la glicina hasta diglicina calentando la mezcla a 94°C a un pH ligeramente alcalino (8-9) o neutro (193). Resultados semejantes se obtienen cuando la mezcla reactiva está compuesta de aminoácidos (marcados con ^{14}C), disueltos en agua y una atmósfera de metano y amoníaco, a la cual se sujeta a descargas eléctricas (194). En este caso también pudo sintetizarse triglicina - además de la diglicina, aunque los porcentajes fueron bajos. El mecanismo sugeri-

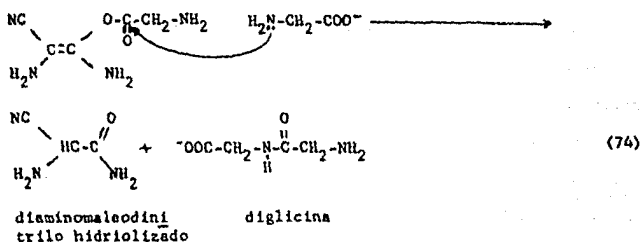
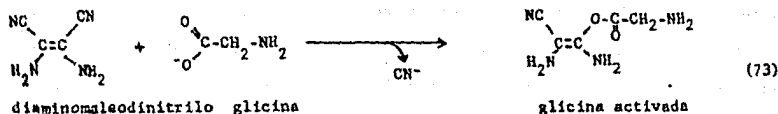
(193) E. Chang, J. Flores y C. Ponnamparuma (1969), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 64, 1011-1015

(194) J. J. Flores y C. Ponnamparuma (1972), J. Mol. Evol., 2, 1-9.

(195) J. Rabinowitz, J. Flores, R. Krebsbach y A. Rogers (1969), Nature, 224, 795-796.

(196) H. M. Chung, R. Lohrman, L. E. Orgel y J. Rabinowitz (1971), Tetrahedron, 27, 1205-12.

do es el siguiente :



Estos trabajos se articulan muy bien con los resultados obtenidos por Lowe, Rees y Markham (56), Labadie et al. (57, 1977), Kliss y Matthews (55), Sánchez, Ferris y Orgel (58) (supra IV, 2.1) y Grossenbacher y Knight (198), realizados, de una u otra manera, con soluciones de ácido cianhídrico o sus sales en medio acuoso, las cuales produjeron algunos oligopéptidos además de aminoácidos. En este sentido también guardan alguna relación con los experimentos de Akabori (199), quien obtuvo poliglicina por polimerización directa del α -aminoacetonitrilo y su hidrólisis parcial posterior.

Por otra parte, estos resultados no apoyan las ideas de Matthews y sus asociados como podría pensarse a primera vista. En efecto, Matthews ha insistido constantemente en que la formación abiótica de polipéptidos habría sido por la polimerización directa del HCN y luego por la hidrólisis del polímero resultante, y

-
- (197) M. Labadie, R. Jensen y E. Neuzil (1968), Biochim. Biophys. Acta, **165**, 525-533.
 (198) K.A. Grossenbacher y C.A. Knight (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. pp. 173-183.
 (199) S. Akabori (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pasynskii, et al. eds. (1959), op y ed. cit. (2), pp. 189-196. Véase también: S. Akabori y M. Yamamoto (1972), en: L. Kihlfing y A.I. Oparin eds. (1972), op. y ed. cit. (147), pp. 189-196.

no por condensación de aminoácidos (55, 200-205). De acuerdo con la hipótesis de Matthews y sus colaboradores, los aminoácidos detectados en los experimentos con atmósferas simuladas son el resultado de la hidrólisis de polipéptidos, por lo tanto, los aminoácidos no son productos primarios. De acuerdo con esto los precursores de los polipéptidos no serían los aminoácidos sino las heteropoliamidinas, las cuales reaccionarían con el agua para producir heteropolipéptidos. Para explicar la formación de estos compuestos, con las secuencias más variadas, estos investigadores plantean complejos mecanismos de reacción (200-206). Las heteropoliamidinas se formarían en las capas superiores de la estratósfera primitiva y en la hidrósfera serían transformadas a heteropolipéptidos con cadenas laterales semejantes a las proteínas actuales (203).

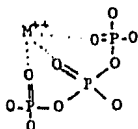
Sin embargo, Labadie y sus asociados (57,197) indican que es muy poco probable que los polímeros más densos del ácido cianhídrico (ácidos azulmicos), presenten enlaces peptídicos, pues éstos se muestran refractarios a la acción de enzimas proteolíticas como la tripsina, además, el análisis espectral en el infrarrojo muestra enlaces de tipo C=O, pero ésta no puede ser considerada como una prueba de enlaces peptídicos. Por su parte Ferris et al. (59,82,92,94,207), han cuestionado las apreciaciones de Matthews y sus colegas señalando que la producción de aminoácidos por la hidrólisis de un polímero determinado no constituye ninguna prueba de la existencia de enlaces peptídicos. Recientemente un estudio espectroscópico

- (200) C.N. Matthews y R.E. Moseley (1966), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 56, 1087-1094.
 (201) C.N. Matthews y R.E. Moseley (1967), Nature, 215, 1230-1234.
 (202) C.N. Matthews (1971), en: R. Buvat y C. Ponnampetuna eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 231-235.
 (203) C.N. Matthews (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al. eds. (1974), op. y ed. cit. (47), vol. 2 pp. 155-162.
 (204) C.B. Warren, R.D. Minard y C.N. Matthews (1974), J. Org. Chem., 39, 3375-3378.
 (205) R.D. Minard, W. Yang, P. Varma, J. Nelson, C. Matthews (1975), Science, 190, 387-389.
 (206) W. Yang, R. Minard y C. Matthews (1976), J. Theor. Biol., 56, 111-123. Véase también J.B. Moffat y K.F. Tang (1976), J. Theor. Biol., 58, 83-95.
 (207) J.P. Ferris, J.D. Wos, D.W. Noonan y J. Oró (1974), J. Mol. Evol., 3, 225-231.

cópico en el infrarrojo (realizado con más cuidado), ha apuntado de manera notable las críticas anteriores al enfoque de Matthews y sus colegas (208)

En los últimos años han empezado a cobrar gran interés los experimentos de condensación de aminoácidos con polifosfatos inorgánicos. Se obtienen mejores resultados especialmente con el trimetafosfato a temperatura de 70°C, o incluso a temperatura ambiente, a un pH ligeramente alcalino (el óptimo es de 9, en estas condiciones) (195,196). Cuando se usa glicina con trimetafosfato el producto (diglicina) (*), alcanza un 36% a diferencia del 3 ó 12% que puede lograrse con polifosfatos lineales (195).

En cuanto al mecanismo de reacción de esta síntesis no hay todavía nada claro y se plantean varias alternativas (189,196); entre las que pueden indicarse están la síntesis de aminoacilpolifosfatos o fosforamidos. Lo más adecuado para la activación de los aminoácidos es la activación del carboxilo, lo cual no sucedería fácilmente por un ataque nucleofílico del carboxilo sobre uno de los fósforos del trimetafosfato, por lo que Hulshof y Ponnampereuma sugieren que dicho ataque nucleófilo sería susceptible si los polifosfatos formasen con los cationes divalentes disueltos (a los que no se ha puesto la debida atención), quelatos, debido a que el átomo de fósforo en tales circunstancias está mucho menos escudado por los átomos de oxígeno parcialmente negativos (189). Esto puede ilustrarse así:



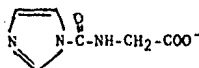
quelato

Más eficaces que estas reacciones han resultado otras con trifosfatos de nucleósidos, imidazol y sales de Mg⁺⁺ a temperatura ambiente o 40°C durante 3 ó 6 días (209).
(208) I.G. Draganic, Z.D. Draganic, S. Jovanovic y S.V. Ribnikar (1977) J.Mol.Evol., 10, 103-109.

(*) En estas condiciones también se producen cantidades detectables de triglicina.
(209) A.L. Weber, J.M. Caroon, J.T. Warden, R.M. Lemmon y M. Calvin (1977) BioSystems, 8, 277-286.

Esta reacción también ocurre en fase sólida (por evaporación del agua a unos - 70°C), y se obtienen también, simultáneamente, oligonucleótidos junto con los oligopéptidos. En el caso de la reacción en medio acuoso el producto obtenido es diglicina (209), (v. infra, IV, 3.2c).

Un tanto semejante al método anterior es el desarrollado por Ehler y Orgel (210), que también emplea imidazol como catalizador, pero ellos usan como condensante un compuesto que tradicionalmente se ha empleado en la química sintética de los últimos años en disolventes no acuosos, que es el N-N'-carbonildiimidazol. Este compuesto permite la condensación de aminoácidos como la glicina, a baja temperatura (0°C). En este proceso parece que como intermediario figura el N- [imidazolil-(1)-carbonil] -glicina:



El valor de estas últimas reacciones en el contexto de la evolución química debe ser evaluado cuidadosamente.

3.2c. OTROS METODOS DE CONDENSACION DE AMINOACIDOS.

Se puede decir que los métodos que a continuación se van a describir con toda brevedad, tienen realmente poco de haberse empleado y están llamando cada día más la atención de los estudiosos del origen de la vida. En general estos métodos se pueden considerar como mixtos, pues comparten algunas de las características de los dos anteriores, hasta cierto punto.

Evaporando hasta sequedad por calentamiento (a temperaturas $\leq 100^\circ\text{C}$), una solución acuosa que contenga algún aminoácido, un agente condensante, Mg^{++} y un exceso de imidazol, es posible producir en poco tiempo (≤ 24 horas), buenos porcen

(210) K.W. Ehler y L.E. Orgel (1976), Biochim. Biophys. Acta, 434, 233-243. Ver también: K.W. Ehler (1976), J. Am. Chem. Soc., 41, 3041-3042.

tajes de polipéptidos hasta de 10 residuos de aminoácidos (211-214). Estas reacciones en fase sólida deben realizarse en presencia de cierto grado de humedad (40-70% de humedad relativa), y no en condiciones de sequedad absoluta (215). En estos experimentos se utilizó exclusivamente glicina, pero todo parece indicar que los resultados con otros aminoácidos serían muy similares. Como agentes condensantes en esta línea de experimentación, se han empleado polifosfatos orgánicos como el ATP, el 3',5'-pírofosfato de diadenosina (AppA), y el adenosínforimidazólido o N-adenilato de imidazol (212,213), además de polifosfatos inorgánicos (214). Los polifosfatos inorgánicos más efectivos fueron los trimetafosfatos y con ellos se pudieron producir hasta decámeros (214).

El Mg^{++} y especialmente el imidazol desempeñan en estos procesos el papel de catalizadores. En efecto, Lohrman y Orgel han encontrado muy escasa reactividad entre la sal sódica del ATP y la glicina por calentamiento en fase sólida y básicamente dicha reactividad es de tipo degradativo (211). Esto obedece, en especial, a que los polifosfatos no pueden reaccionar directamente con los grupos amino o carboxilo para formar derivados fosfatados de aminoácidos (211). Asimismo, los autores referidos encontraron que las aminas, incluyendo los aminoácidos y el amoníaco, reaccionan con el ATP u otro polifosfato de nucleósido calentando la mezcla suavemente en fase sólida, si hay suficiente cantidad de Mg^{++} , dando lugar a la formación de fosforamidatos. De este modo, Lohrman descubrió una nueva serie general de reacciones en fase sólida (211). El compuesto que mayor rendimiento produce en estas condiciones es la etilén-diamina; sin embargo, ésta no parece tener un significado prebiótico, aunque pudo generarse por la descarboxilación del ácido 1,2-dia-

(211) R. Lohrman y L.E. Orgel (1973), Nature, 244, 418-420.

(212) R. Lohrman, R.Ranganathan, H. Sawai y L.E. Orgel (1973), J.Mol.Evol., 5, 57-73.

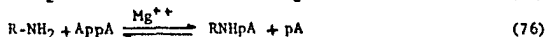
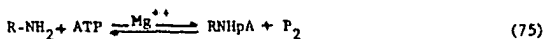
(213) H.Sawai, R.Lohrman y L.E. Orgel (1975), J.Mol.Evol., 6, 165-184

(214) H.Sawai y L.E. Orgel (1975), J.Mol.Evol., 6, 185-197.

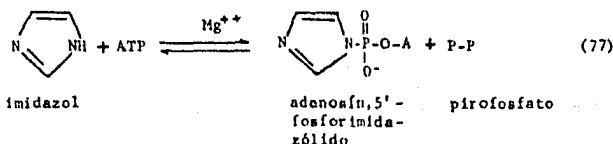
(215) R. Lohrman (1977), J.Mol.Evol., 10, 137-154.

minopropiónico, el cual aparece entre los principales productos en los experimentos con descargas eléctricas (211, 215) (*).

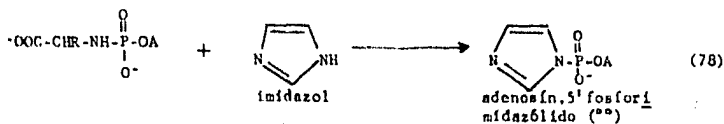
Las reacciones anteriores pueden expresarse así :



El imidazol, que puede ser considerado como una amina, reacciona en forma paralela formando imidazólidos:

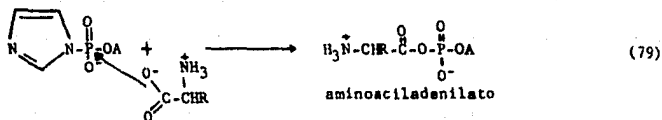


Los fosforamidados son compuestos ricos en energía y muy estables ante la hidrólisis. Por lo tanto, podrían haber almacenado la energía original contenida en los polifosfatos como el ATP (211,215). Sin embargo, los fosforamidados no pueden reaccionar directamente para formar péptidos porque no son activados - los grupos carboxilos de los aminoácidos. Las formas activadas de los aminoácidos son los aminoaciladenilatos, pero estos resultan ser muy lábiles por lo que son fácilmente hidrolizados (211). Es aquí donde el imidazol juega un papel de enorme importancia. En efecto, el imidazol puede transformar el fosforamidado a un aminoaciladenilato, el cual es atacado por un nucleófilo tal como el grupo amino de otro aminoácido (211-214).



(*) En cambio se consideran varias posibles vías para la síntesis abiótica del imidazol, como por la irradiación U.V. de una mezcla de cianoacetileno y amoníaco.

(**) En lo sucesivo se empleará Impa como abreviatura para referirse a este compuesto.



Es por esta razón que en presencia de un exceso de imidazol (generalmente 10:1), se obtienen porcentajes relativamente altos (~10%), de di y oligopéptidos (211,212) de 8 a 10 residuos de aminoácidos (213,214). Por otro lado, cabe la posibilidad de que el aminoaciladenilato reaccione con el imidazol y forme un aminoacilimidazólide, que sería otra forma activada de aminoácido capaz de formar un enlace peptídico:



Según Lohrman y Orgel algunos péptidos serían formados a partir de este intermediario, más que a partir de aminoaciladenilatos (211, 213).

De gran importancia resulta además la detección de pequeñas cantidades de 2 ó 3-glicilato adenílico (Gly-O-pA), es decir, del éster de glicina y ácido adenílico (AMP) (212). Esta sustancia se encontró principalmente a bajas temperaturas (~4 °C), en condiciones ligeramente ácidas (pH ~ 6), y en presencia de una baja concentración de imidazol (212). Este hecho resulta ser de gran trascendencia porque junto con los anteriores configura un paralelismo con el proceso de biosíntesis de proteínas llevado a cabo en las células contemporáneas. Como se sabe, los aminoaciladenilatos son las formas activas de los aminoácidos en las células, los cuales reaccionan con el ARNt produciendo aminoacil-ARNt por un mecanismo de transacilación, mediante el cual se produce la aminoacilación del HO⁻(3') del residuo -

terminal de adenosina (212). Todo este proceso se realiza en presencia de Mg^{++} (*), y, desde luego, de una enzima, la gintetasa del aminoacil-ARNt o enzima activado-ra.

Por otra parte, también es digno de señalarse el hecho de que la histidina, que es un aminoácido derivado del imidazol, forma parte del sitio activo de numerosas enzimas, lo cual hace aún más significativa la catálisis del imidazol en estos experimentos. Asimismo, estos experimentos muestran la posibilidad de una síntesis simultánea de polipéptidos y polinucleótidos en el ambiente prebiótico de pendiendo de las condiciones concretas en cada caso. En tal sentido apuntan también los resultados recientemente publicados (muy similares a los anteriores), por el equipo de Lemmon y Calvin (216), así como los de Ryan y Fox (217).

Los mejores rendimientos se obtienen a un pH ligeramente alcalino (~ 8) o neutro, y a temperaturas inferiores a los $100^{\circ}C.$, por lo regular ($65-85^{\circ}C.$), y el peso molecular más alto de los péptidos se logra cuando se usan como agentes condensantes los polifosfatos inorgánicos. Todo esto es congruente con las experiencias para producir polifosfatos orgánicos e inorgánicos llevados a cabo por Lohrman, Orgel y sus asociados (supra, IV, 3.1). El siguiente esquema propuesto por estos autores (212), resume de manera cabal los hallazgos anteriores (página 229).

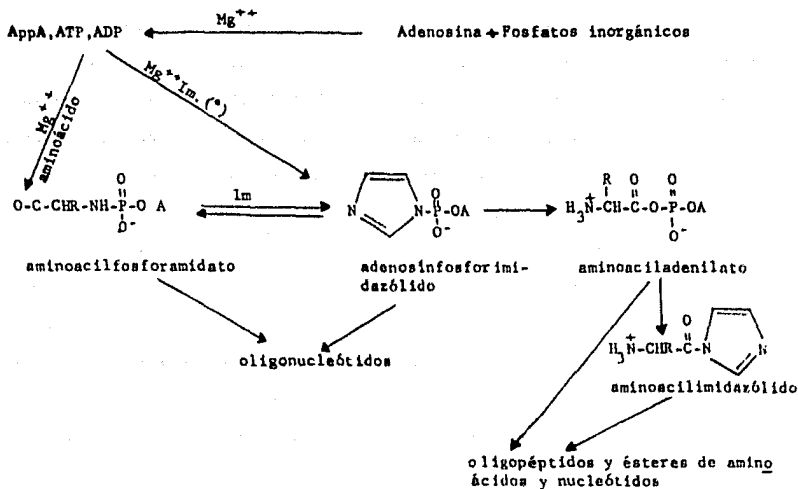
También se ha podido condensar la glicina hasta diglicina y triglicina por la acción de algunos ortofosfatos en presencia de cianato inorgánico, siguiendo un procedimiento semejante al señalado arriba (218). Todo hace indicar que la condensación de aminoácidos en estos sistemas es mediada por la formación previa de polifosfatos inorgánicos (218). Los rendimientos en este caso son muy bajos -

(216) A.L. Weber, J.M. Caroon, J.T. Warden, R.M. Lemmon y M. Calvin (1977). BioSystems, 8, 277-286.

(217) J.W. Ryan y S.W. Fox (1973). BioSystems, 5, 115-118.

(*) Hasta ahora no se conoce cuál es la acción catalítica del Mg^{++} , quizá obradecza a la formación de quelatos (iones complejos), como han sugerido Ponnamparuma y Hulschof (189).

(218) J.J. Flores y J.O. Leckie (1973). Natura, 244, 435-436.



comparados con los producidos en los experimentos de Lohrman, Orgel y otros en presencia de Mg^{++} e imidazol.

Otro agente condensante empleado en la síntesis de oligopéptidos y de oligonucleótidos en fase sólida es la cianamida a la que ya se hizo referencia antes (*supra*, IV, 3.2b). El equipo de Oró, Nooner, Sherwood y otros ha producido hasta tetrapéptidos de glicina y fenilalanina y dipéptidos de isoleucina, y de isoleucina y fenilalanina, en presencia de 4-amino-5-imidazolcarboxamida (AICA) y de ATP (219), calentando la mezcla en condiciones hidrofóbicas a 90°C durante 24 hrs. Como puede verse estos experimentos emplean un derivado del imidazol, AICA, lo cual pone de manifiesto nuevamente el significado probable del imidazol y sus derivados en la evolución química como agente catalítico relevante.

(*) Im. significa imidazol.

(219) D.W. Nooner, E. Sherwood, M.A. More y J. Oró (1977), *J. Mol. Evol.*, **10**, 211-220.

Otro enfoque que ha cobrado gran interés en la última década ha sido la condensación de biomonomeros en presencia de ciertas arcillas u otros materiales sólidos, inspirado en las ideas de John D. Bernal (2,105,106). Sobre todo son relevantes los trabajos iniciados por Katchalsky y continuados actualmente por Paecht-Horowitz. Estos trabajos han consistido en el empleo de aminoaciladenilatos, que son aminoácidos activados a los que ya se hizo referencia arriba, en presencia de arcillas como la montmorillonita en fase acuosa (*).

En un principio el equipo de Katchalsky realizó condensaciones de aminoaciladenilatos en ausencia de arcillas en solución acuosa, a la temperatura ambiente y a un pH ligeramente alcalino (7.5-8.5), pero no lograban obtener buenos rendimientos y difícilmente se producían oligopéptidos de más de 4 ó 6 residuos de aminoácidos (220,221). Estos resultados fueron confirmados por Banda y Ponnampuruma (222).

El primer reporte en el que el equipo de Katchalsky anunció la condensación de aminoaciladenilatos en presencia montmorillonita fue en 1968 (223); desde entonces su interés se centró sobre esa arcilla y su poder catalítico en la condensación de aminoácidos (224-230). En estas condiciones se pueden producir polipéptidos de cadenas relativamente largas, de 30,42,46 y hasta 56 residuos de aminoácidos en el caso de la polialanina y en algunos copolímeros de 60 y 68 residuos (224, 225, 227,228).

- (*) Este tipo de reacciones es muy semejante al que hace tiempo se ha utilizado en la química y en la bioquímica sintéticas, conocido como síntesis en fase sólida o en soporte sólido, desarrollado por Merrifield, R.B. (1964, J. Am. Chem. Soc., **86**, 304).
- (220) M. Paecht-Horowitz y A. Katchalsky (1967), Biochim. Biophys. Acta, **140** 14-23.
- (221) R. Lewinsohn, M. Paecht-Horowitz y A. Katchalsky (1967), Biochim. Biophys. Acta, **140**, 24.
- (222) P.W. Banda y C. Ponnampuruma (1971), Space Life Sci., **3**, 54-62.
- (223) M. Paecht-Horowitz (1968), Abstr. 5th. Intern. Symp. Chem. Natural Products, Londres, 8-13 de julio (1968). Citado por M. Paecht-Horowitz en: (225).
- (224) M. Paecht-Horowitz, J. Berger y A. Katchalsky (1970), Nature, **228**, 636-639.
- (225) M. Paecht-Horowitz, (1971), en: R. Buyat y C. Ponnampuruma, eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 245-251.
- (226) M. Paecht-Horowitz y A. Katchalsky (1973), J. Mol. Evol., **2**, 91-98.
- (227) M. Paecht-Horowitz (1974), en: K. Done, G.W. Fox et al., (1974), op. y ed. cit. (43), pp. 373-385.
- (228) M. Paecht-Horowitz (1974), en: J. Oró S.L. Miller, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (47), vol.1.173-187.

La montmorillonita adsorbe a los aminoaciladenilatos pero no a los aminoácidos libres. Katchalsky y Paecht-Horowitz pudieron obtener los aminoaciladenilatos mediante zeolitas sintéticas como el "Decalso F". Las zeolitas son intercambiadoras de iones (algunas veces se emplean como ablandadores del agua). Cuando estos autores intentaron obtener directamente aminoaciladenilatos con ATP y aminoácidos a pH 7 y a temperaturas de 25-37°C, hasta por varios meses, fracasaron. Con el "Decalso F", en cambio, lograron fácilmente su formación (226). Según parece es necesario mantener el carboxilo indisiociado en solución para formar el aminoaciladenilato, lo cual se garantiza con el intercambiador de iones (226). Sin embargo, estos resultados no pudieron ser corroborados por el equipo de Warden, Mc Cullough, Lemmon y Calvin (231). Se desconocen aún las razones de esta incongruencia con el "Decalso F".

Por otra parte, Degens y Matheja han reportado la síntesis de polímeros de aminoácidos calentando una solución acuosa concentrada de diversos aminoácidos (0.1M), a 80°C durante 7 días, en presencia de montmorillonita o de caolinita. El peso molecular de los oligopéptidos sintetizados en esta forma oscila, principalmente, entre 800 y 1400 que, más o menos corresponde a cadenas poliméricas de 7 a 15 residuos de aminoácidos (232). Los mejores resultados fueron obtenidos por Degens y Matheja con caolinita.

De cualquier manera, Paecht-Horowitz ha demostrado que es posible producir en medio acuoso polipéptidos de peso molecular considerable en condiciones alcalinas moderadas, si se emplean arcillas como la montmorillonita y aminoaciladenilatos (227-230). Cuando los aminoaciladenilatos se encuentran en el agua en ausen-

(229) M. Paecht-Horowitz (1976), Origins of Life, 7, 369-381.

(230) M. Paecht-Horowitz (1977), BioSystems, 2, 93-98.

(231) J. T. Warden, J. J. Mc Cullough, R. M. Lemmon y M. Calvin (1974), J. Mol. Evol., 4, 189-194.

(232) E. T. Degens y J. Matheja (1971), en: A. P. Kimball y J. Oró, eds. (1971), op. y ed. cit. (126), pp. 39-69.

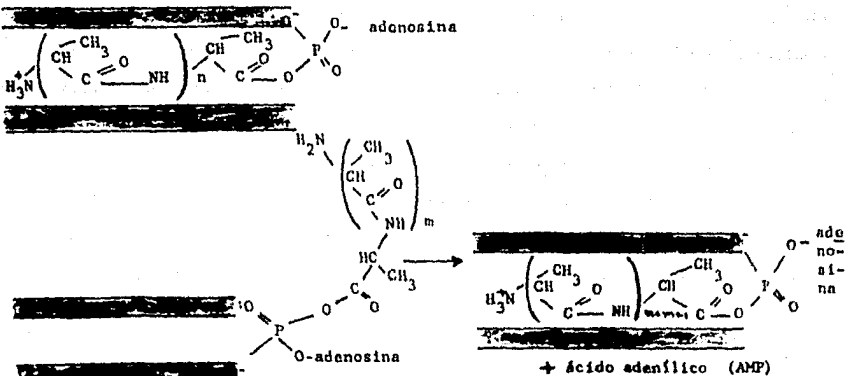
cia de montmorillonita se hidrolizan rápidamente, por lo que la arcilla impide esa hidrólisis amén de catalizar la condensación (224,225,226). Uno de los aspectos más sobresalientes de este tipo de procesos es el espectro discreto de los productos, generalmente múltiplos de 6 ó 7 (225-230); es decir, que no se encuentra una gama continua de péptidos con número creciente de residuos de aminoácidos, lo que hace pensar que los procesos fundamentales de condensación se llevan a cabo entre oligopéptidos activados adsorbidos en la arcilla (227-230). Otro aspecto importante es que los reactivos son adsorbidos en tanto que los componentes resultantes no (229).

Todo lo anterior se explica en gran medida por las propiedades de la montmorillonita. Esta arcilla está compuesta por 3 capas: 2 de silicatos y una capa intermedia de un óxido o un hidróxido metálico (principalmente de aluminio), las cuales configuran una estructura como de emparedado (227, 232). La montmorillonita, como otros minerales arcillosos, puede adsorber agua e hincharse lo cual hace que su estructura sufra rearrreglos (227,232). Se estima que la montmorillonita tiene una estructura laminar con cargas positivas y negativas que corresponden a las zonas del óxido aluminico y al sílice. En un principio se pensó que la adsorción de los aminoáciladenilatos, o cualquier otro precursor de polímeros, se realizaba en las capas superficiales de la arcilla (224,225,226,232), pero recientemente se descubrió que dicha adsorción se efectúa internamente, entre dos láminas de la montmorillonita (227-230,233). Este hecho interesante, según Paecht-Horowitz, asemeja más a su modelo con aquel propuesto por Oparin, quien indica que la policondensación se realizó en el interior de los coacervados. En este caso la montmorillonita substituiría al coacervado.

Por otro lado, el espacio entre las láminas de la arcilla no permite la entrada de moléculas voluminosas como la-histidina o el AMP (227,228).

(233) N. Lohav (1975), J. Mol. Evol., 3, 243-247.

El esquema siguiente, propuesto por Paecht-Horowitz (230), ilustra clara-
mente lo anterior:



En él se advierte la heterogeneidad eléctrica de la montmorillonita.

En la capa intermedia de esta arcilla predominan cargas negativas debidas al SiO_4 , lo cual hace forzoso que el extremo amino del aminoaciladenilato esté protonado en la forma NH_3^+ para que pueda ser adsorbido por la arcilla, lo cual se consigue por lo regular a un pH neutro. Los bordes de la montmorillonita tienen cargas positivas debidas a los óxidos de aluminio o de otros metales como el fierro (en el caso de la nontronita): es en esos puntos donde los oxígenos del fosfoéster, cargados negativamente, se fijan. Fuera del mineral prevalecen otras condiciones pues el extremo amino del otro aminoaciladenilato no está protonado, lo cual sólo es posible si el pH en esa zona es alcalino (~ 8), permitiendo de ese modo el ataque nucleofílico del amino sobre el fosfoéster y, consecuentemente, la formación del enlace peptídico y la liberación del AMP (extremo derecho del esquema). La salida del AMP hace descender localmente el pH permitiendo así la fijación de otra molécula de aminoaciladenilato y la formación de otro enlace peptídico, luego del ajuste del pH (229,230). Por lo tanto, para que se lleve a cabo la catálisis en presencia de mont-

morillonita es necesaria la unión del precursor en dos puntos de la arcilla. Además la fijación no debe ser fuerte pues es imprescindible la movilidad de las moléculas para garantizar la catálisis. Esto explicaría el caso de los aminoácidos alcalinos, como la histidina, que se adsorben fuertemente impidiendo la movilidad, por lo que no existe diferencia entre la condensación de estos aminoácidos alcalinos en presencia o en ausencia de montmorillonita (228,229,230).

De acuerdo con Paecht-Horowitz (230), la polimerización es posible solamente cuando parte de las moléculas han sido hidrolizadas y los aminoácidos libres producidos pueden ahora atacar a los aminoaciladenilatos (*) dando de esta manera dipéptidos y liberando AMP. Estos dipéptidos, a su vez, pueden atacar a otros adenilatos de aminoácidos produciendo tripéptidos, tetrapéptidos y polímeros no mayores de 6 residuos, en el mejor de los casos. A partir de estos pequeños péptidos se podrían engendrar los grandes péptidos que requieren la presencia de arcillas, tal como se ha descrito antes. Esta explicación coincide con las observaciones realizadas en el sentido de que las reacciones de condensación con la montmorillonita no se presentan de manera ininterrumpida sino a intervalos, y que los productos sean en realidad múltiplos de péptidos con 6 ó 7 residuos de aminoácidos. La policondensación cesa cuando se forma un enlace éster entre el péptido formado y el HO⁻ de la posición 2' de la ribosa en el 5'AMP (229).

De lo anterior se desprenden las siguientes conclusiones: 1) la principal función de las arcillas es la concentración de los precursores activados lo cual permite la interacción de las moléculas; 2) la montmorillonita protege eficazmente a las moléculas de la degradación, tanto de las fuentes energéticas que las engendraron como de la hidrólisis en todas sus modalidades. En efecto, gran número de bioquímicos han encontrado que gran cantidad de proteínas no son atacadas por bacterias o por enzimas cuando están adsorbidas sobre arcillas (citado por Paecht-Horowitz).

(*) En estas experiencias el aminoaciladenilato fue el alaniladenilato, que dio los mejores resultados.

witz, 229); 3) los primeros péptidos pudieron desarrollarse sobre plantillas inorgánicas, pues hay cierta selectividad por lo que aquí tampoco se desarrolla una síntesis al azar. Este último punto también está de acuerdo con las ideas de Degens y Matheja (232), y de Burton y Neuman (234). Estos últimos produjeron poliglicina en presencia de hidroxinapatita.

Muy cercano a estos enfoques es el empleo de matrices o soportes sólidos de material orgánico polimérico como es el caso de los polímeros de melanoidina, que consisten esencialmente de los ácidos húmico y fúlvico y forman la mayor parte del reservorio de compuestos orgánicos en los sedimentos recientes (235), así como la propuesta de Armstrong y sus colaboradores respecto a la acción catalítica y concentrativa de ciertas micelas coloidales orgánicas en fase acuosa, tales como el bromuro de hexadeciltrimetilamonio (236), que parece ser más efectivo para concentrar sustancias de interés biológico que las arcillas (236). Sin embargo, todavía no está claro si compuestos como el sugerido por Armstrong y su grupo podrían haber sido relativamente abundantes y plausibles en el ambiente prebiótico de la Tierra.

Por lo que respecta a los trabajos de Paecht-Horowitz antes citados, éste señala que es muy poco probable la síntesis polipeptídica en las primeras etapas de la evolución química, y lo más seguro es que haya aparecido más tarde. No obstante que esta no deja de ser una objeción a los trabajos de Paecht-Horowitz en el contexto de la evolución química (8), no hay que olvidar que recientemente se han podido producir con relativa facilidad inoaciladenilatos con polifosfatos y aminoácidos mediante la catálisis del Mg^{++} y el imidazol, a lo cual ya se ha hecho referencia más arriba (211-216).

(234) F.G. Burton y W.F. Neuman (1971), Curr. Mod. Biol., 4, 47-54.

(235) A. Nissenbaum, D.H. Kenyon y J. Oró (1975), J. Mol. Evol., 6, 253-270.

(236) D.W. Armstrong, R. Seguin y J.H. Fendler (1977) J. Mol. Evol., 10, 241-250.

Véase también: D.W. Armstrong, F. Nome, J.H. Fendler y J. Nagyvary (1977), ibid. 9, 213-223.

3.3. SINTESIS DE POLINUCLEOTIDOS.

En la parte correspondiente a las fosforilaciones prebióticas se ha hecho alusión a diversas síntesis de algunos oligonucleótidos, además de la síntesis de los nucleótidos y los polifosfatos de nucleósidos (supra, IV,3.1). Aquí sólo se hará somera referencia a los experimentos más importantes en los cuales se ha logrado la formación de oligonucleótidos, más que de polinucleótidos, pues como tales estos últimos no han podido aún ser sintetizados en condiciones prebiológicas simuladas.

En términos generales se han empleado casi los mismos métodos que para la síntesis de oligo y polipéptidos, pero con mucho menor éxito y hasta con fracaso rotundo, lo cual parece reforzar la creencia de algunos estudiosos del origen de la vida en el sentido de que los polinucleótidos, y más concretamente los ácidos nucleicos, aparecieron tardíamente en las primeras etapas de la evolución biológica, si aceptamos a los protobiontes como sistemas biológicos. Es decir, que una información almacenada en los ácidos nucleicos pudo no haber sido necesaria en las primeras formas vivientes, si hubo otras estructuras regulares, como los cristales minerales, que catalizaran la policondensación de los aminoácidos de manera ordenada (232,237,238,239). Desde luego esto está todavía en el terreno de la discusión y de la controversia. En el siguiente capítulo me referiré un poco más a ello.

La pirocondensación de nucleótidos fue realizada principalmente por el equipo de Morávek en 1968. Calentando una mezcla anhidra de uridina y 2' (3') monofosfato de uridina, obtenía UpU (20%) y UpUpU (7%), y calentando a temperatura semejante el 2' (3') monofosfato de uridina, Morávek y sus colaboradores sintetizaron UpUpU y UpUpUpUp. En estos di y trinucleótidos, y piro y trifosfatos de diuridina y triuridina, predominan los enlaces naturales 3' → 5' (240). Por su parte el -

(237) J.P.Ferris (1977), "Biopolymers and the Origins of Life", sometido para su publicación en: Chemistry.

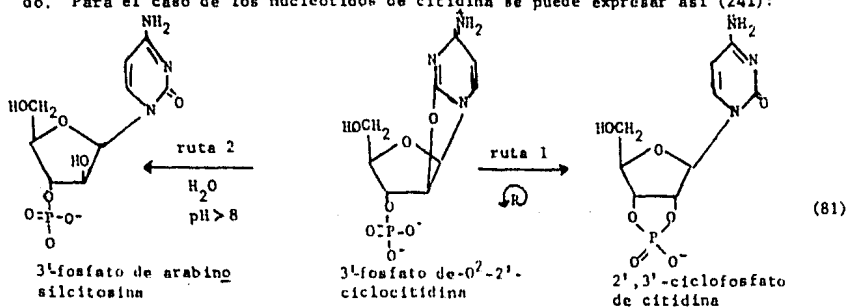
(238) A.G.Cairns-Smith (1965), J.Theor.Biol., 10, 53-88.

(239) A.G.Cairns-Smith (1971), The Life Puzzle, ed. Oliver & Boyd, Glasgow.

(240) J.Morávek, J.Kopeck y J.Skoda (1968), Coll.Czech.Chem.Commun, 33, 960, 4120 y 4407; citado por: J.Oró y E.Stephen-Sherwood (1976), Origins of Life, 7, 37-47.

equipo de Nagyvary (241,242,243), han empleado la pirocondensación en estado sólido en soluciones no acuosas mediante el llamado "método del ciclonucleósido" - para formación de oligonucleótidos, el cual se ha desarrollado en la química orgánica sintética desde hace más de una década. Dicho método consiste en calentar - 3'-fosfato de O²-2' ó 5' de ciclonucleósidos (uridina, citidina o timidina), con sales de trietilamonio, a 138 ó 140°C durante 48 horas en promedio. De este modo se producen oligonucleótidos de 6 residuos de citidina (241), de uridina (242), y de 8 hasta 12 residuos en el caso de los oligómeros de la timidina (243). El tipo de enlaces predominante del fosfodiéster en estos productos también es el 3'→5' y el rendimiento de las reacciones es de 23 a 44%.

Por las pruebas realizadas por Nagyvary y sus colaboradores se deduce que el intermediario activo en estos procesos es un 2',3'-ciclofosfato de nucleósido. Para el caso de los nucleótidos de citidina se puede expresar así (241):



El 3'-fosfato de-O²-2'ciclocitidina es un compuesto muy estable a pH neutro ó ácido y temperaturas de 140°C en estado sólido; valores de pH superiores a 8 (en solu

(241) C.M.Tapiero y J.Nagyvary (1971), *Natura*, **231**, 42-43.

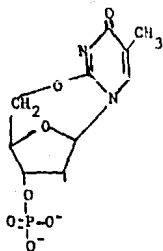
(242) J.Nagyvary y R.Provenzale (1971), en: A.P. Kimball y J.Oró, eds. (1971), op. y ad. cit. (126), pp. 102-110.

(243) J.Nagyvary y K.L. Nagpal (1972), *Science*, **177**, 272-274.

ción), y de temperaturas mayores a la señalada producen su descomposición. En el primer caso el compuesto se hidroliza formando un fosfato de nucleósido constituido por arabinosa y citosina (241), tal como puede apreciarse en la ruta 2 de la ecuación (81). La ruta 1 es la importante para la consolidación de enlaces internucleotídicos. Los ciclofosfatos de nucleósidos como el 2'-3' fosfato de citidina son formas activadas de nucleótidos al igual que el compuesto que le dio origen, el fosfato de ciclonucleósido.

Pese a que Sánchez y Orgel pudieron producir fosfatos de ciclonucleósidos en condiciones supuestamente prebióticas terrestres (244), aún está en tela de juicio este tipo de experimentos con ciclonucleósidos en el terreno de la evolución química.

En los últimos experimentos de Nagyvary y sus colegas se ha preferido el empleo de ciclonucleósidos-0-5'-fosfatos (243), cuya fórmula sería:



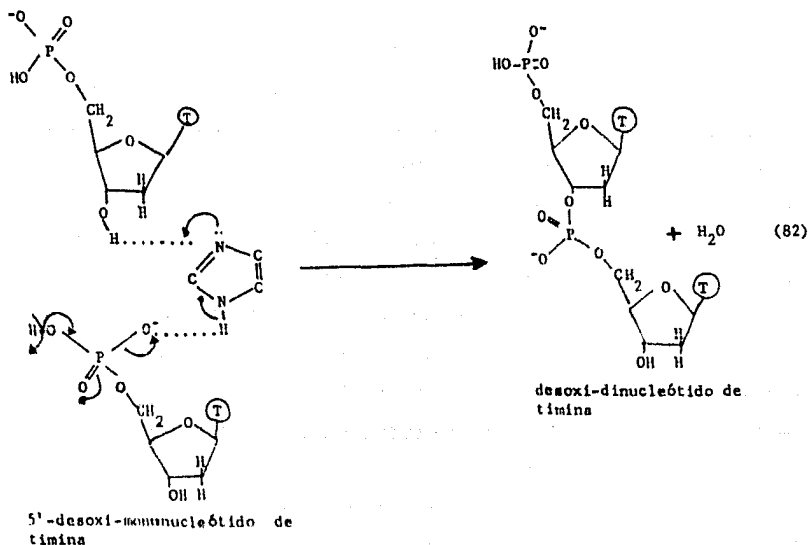
Por otra parte, estos métodos de pirocondensación adolecen de las mismas limitaciones que aquéllos con los aminoácidos (supra, IV, 3.2a).

La condensación de nucleótidos en fase acuosa ha sido ensayada con más frecuencia.

Ibáñez, Kimball y Oró realizaron una serie de experimentos en solución acuosa en los cuales consiguieron la condensación de mononucleótidos en presencia

(244) R.E. Sánchez y L.E. Orgel (1970), J. Mol. Biol., 47, 531, citado por: Tapiero y Nagyvary, op. y ed. cit. (241).

de imidazol (245,246), de cianamida (245,247), y en presencia de arcillas como la montmorillonita (247), o de poliaminoácidos como la poliornitina. (245). El imidazol cataliza la condensación de monofosfato de timidina (TMP) a 70 ó 90°C en solución acuosa, lo mismo que del monofosfato de desoxi-timidina, produciendo oligómeros hasta de 4 residuos (245,246). El mecanismo de reacción que plantean los autores aludidos para explicar el hecho se puede indicar así:



Como ha de notarse, el enlace formado es el natural 3'→5', pues en este caso no exista el oxhidrilo en la posición 2'; sin embargo, en este tipo de reacciones cuando se emplean ribonucleótidos también se generan enlaces 2'→5', pero predominan -

(245) J. Ibáñez, A.P. Kimball y J. Oró (1971), en: R. Buvat y C. Ponnampuruma, eds. (1971), op. y ed. cit. (34), pp. 171-179.

(246) J.D. Ibáñez, A.P. Kimball y J. Oró (1971), J. Mol. Evol., 1, 112-114.

(247) J.D. Ibáñez, A.P. Kimball y J. Oró (1971), Science, 173, 444-446.

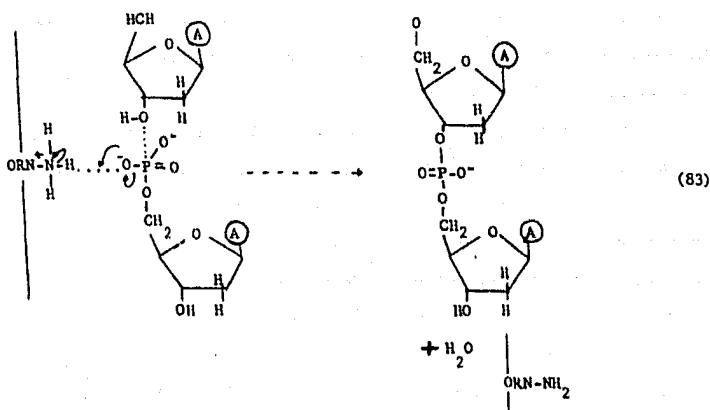
totalmente los primeros (245,246). Por otro lado, cuando se hicieron reaccionar los 5'-mononucleótidos con derivados del imidazol, tales como el AICA (4-aminoimidazol-5-carboxamida), o la histidina, no se manifestó actividad catalítica en las condiciones empleadas (245) (*). La catálisis producida por el imidazol o sus derivados podría ser de interés respecto al estudio de las protoenzimas (246), pero esta evaluación debe verse con reservas pues la cantidad del producto obtenido es muy bajo ($\sim 0.2\%$).

Respecto a la formación de oligonucleótidos con cianamida (que como se recordará, es un agente condensante), este compuesto se empleó sólo y en presencia de montmorillonita o de poliornitina (245,247). Cuando únicamente se empleó la cianamida en solución acuosa se produjeron principalmente di y trinucleótidos, los cuales se detectaron en mucha menor proporción cuando se usó además la montmorillonita, pero en este caso se produjo la mayor cantidad de pentanucleótidos de timina y del tetrámero (0.05%), mejorándose la productividad del proceso unas 10 veces. En el caso de la poliornitina empleada conjuntamente con la cianamida se detectó material polimérico (cromatográficamente), sin que pudiera determinarse su naturaleza exacta ni su grado de polimerización (245). Estos últimos resultados se parecen mucho a los obtenidos, en forma independiente, por Lacey y Pruitt (248) (**), quienes condensaron nucleótidos con el concurso de la polilisina. Todo esto hace pensar que los poliaminoácidos alcalinos funcionan como plantillas o, más bien, como protoplantillas. Basados en las apreciaciones de Lacey y Pruitt, Ibáñez, Kimball y Oro sugieren el mecanismo que a continuación se expresa (245) :

(*) Merece mencionarse que Pongrá y Tó lograron la condensación del TMP con el ácido β -imidazolil-4-(5) propiónico, un derivado del imidazol, en una solución de dimetilformamida. Este trabajo fue el que sugirió a Ibáñez y colaboradores el uso del imidazol para producir oligonucleótidos (245,246).

(248) J.Lacey y K.Pruitt (1969). Nature, 224, 799-804.

(**) Compárese también con los trabajos de Paecht-Horowitz respecto de la montmorillonita en la síntesis de polipéptidos (supra, IV, 2.2c)



Cuando se emplean ribonucleótidos en estos procesos predominan los enlaces naturales 3'→5' sobre los 2'→5' (245,248). En este mecanismo como en el caso anterior el agua sería removida por la cianamida, la cual se transforma en urea.

De todos modos, el porcentaje de oligonucleótidos obtenidos en los experimentos reseñados en este apartado son muy bajos y decrecen paralelamente conforme aumenta el número de residuos (que alcanza hasta 7), siendo en promedio la concentración de los productos obtenidos de 0.3 a 0.8%, respecto a la concentración de los reactivos (245), que fue del orden de $10^{-2}M$, a un pH neutro o ligeramente alcalino (~ 7.5). Es necesario indicar, además, que la cianamida fue empleada a concentraciones relativamente altas ($\sim 1.0M$). En este contexto vuelve a ser necesario suponer que estas reacciones pudieron ocurrir en lagos, lagunas o estanques de la Tierra primitiva, sujetos a activa evaporación. Por otra parte, la cianamida funciona mejor a un pH ácido como ya se ha visto (*supra*, IV, 2.2b); asimismo, esta limitación puede ser superada usando el modelo de los depósitos de agua en evaporación con sales ácidas o con el cloruro de amonio, tal como ha podido ser demostrado

por Odom, Brady y Oró (249). De este modo se puede muy bien partir de una solución diluida con un pH neutro y hasta alcalino, el cual conforme aumenta la evaporación produce el descenso del pH hasta un valor de 3.

En otra serie de experimentos el equipo de Oró logró producir desoxi-polinucleótidos a partir de desoxi-nucleótidos (de A, G, C y T), en solución acuosa, y mono y trifosfatos irradiando la mezcla con luz ultravioleta (250); pese a que se detectaron algunos polímeros de estos nucleótidos no fue posible determinar con precisión el total de éstos y el número de residuos de la cadena.

El grupo de investigadores encabezados por Leslie Orgel ha intentado dos tipos de condensación en solución acuosa: en ausencia de una plantilla polimérica de pirimidinas y en presencia de éstas. Según Lohrman y Orgel la evolución de las moléculas autorreplicativas, es decir, los polinucleótidos y los ácidos nucleicos, debió pasar por los procesos siguientes: 1) combinación directa de intermediarios activados, en solución o en estado sólido, formándose así "plantillas primarias"; 2) estas plantillas dirigieron a su vez la síntesis de moléculas complementarias (de acuerdo con el modelo de Watson y Crick), en fase acuosa (251).

La producción en el laboratorio de oligonucleótidos sin mediación de plantillas se ha llevado a cabo a través de nucleótidos activados (supra, IV.3.1 y 3.2c), como ciclofosfatos (2', 3') de nucleósidos, polifosfatos (5') de nucleósidos, fosforamidas y fosforimidazólidos de nucleósidos (supra, IV.3.2c), tanto en fase acuosa como en estado sólido (con humedad ambiente).

Sawai y Orgel demostraron que el ión Zn^{++} es capaz de catalizar la formación de oligonucleótidos en ausencia de una plantilla y en solución acuosa, a partir de fosforimidazólidos de nucleósidos, como el 5'-adenosín-fosforimidazólido (ImpA).

(249) D.G. Odom, J.T. Brady y J. Oró (1976), J. Mol. Evol., 7, 151-157.

(250) J.H. Mc.Reynolds, N.B. Furlong, P.J. Birrell, A.P. Kimball y J. Oró (1971), en: A.P. Kimball y J. Oró, eds. (1971), op. y ed. cit. (126) pp. 111-121.

(251) L.E. Orgel y R. Lohrman (1974), Acc. Chem. Res., 7, 368-377.

El grado de condensación máximo en estos experimentos fue el de un tetrámero (pA pApApA), produciéndose además un compuesto del tipo (ImpApA)³ (252). Para el caso del oligonucleótido, la temperatura óptima fue la del ambiente (~20°C), a la cual correspondió un rendimiento de 1.2% respecto del ImpA (252). En el tetrámero obtenido predominaron sensiblemente los enlaces 3'→5'. Lohrman, Orgel y sus colaboradoras han ensayado otros posibles catalizadores como la polilixina, algunos derivados simples del imidazol, complejos metálicos con aminoácidos, etc., y los resultados son similares a los anteriores o más bajos (251). Una ventaja de estos experimentos respecto de los de Ibáñez et al. (v. supra), es que se realizan a un pH suavemente alcalino o neutro, que se antoja más factible desde el punto de vista de la evolución química terrestre.

Quizá más interesantes resulten los experimentos con plantillas de polinucleótidos. Estos trabajos en el campo del origen de la vida fueron inspirados por los de Naylor y Gilham (253), quienes en el terreno de la química orgánica sintética consiguieron, por primera vez, la condensación de dos residuos de ácido hexa timidílico (TpTpTpTpTpTp), para formar un dodecatimidilato (dodecanucleótido), en presencia de una plantilla de ácido poliadenílico (Poli-A), y de una carbodiimida(*) en solución acuosa. Así pues, empleando diversos agentes condensantes como la carbonildimidazol y el cloruro de 1-etil-3-(3-dimetilaminopropil)-carbodiimida, se han podido condensar nucleótidos y nucleósidos de adenosina y de guanosina en una plantilla de poliuridinilato (poli-U), y de policitidilato (poli-C), respectivamente (251,254,255). Los primeros experimentos de Orgel y asociados en este senti-

(252) H. Sawai y L.E. Orgel (1975), J. Am. Chem. Soc., 97, 3532-3533.

(253) R. Naylor y P.T. Gilham (1966), Biochemistry, 5, 2722. Citado por Lohrman y Orgel (251), Sulston et al. (256)

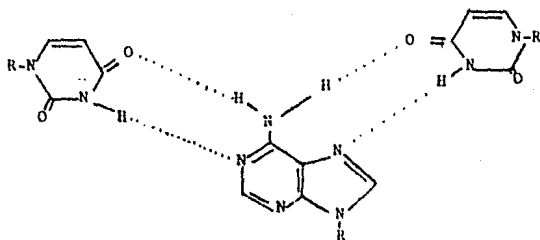
(*) Recuérdese que la cianamida y sus derivados u homólogos pueden presentarse como carbodiimidias en una de sus formas tautoméricas (v. supra, IV, 7.2b), lo cual de algún modo asemeja a uno y otro método de producción de oligonucleótidos.

(254) L.E. Orgel y J.E. Sulston (1971), en: A.P. Kimball y J. Oró, eds. (1971), op. y ed. cit. (126), pp. 89-94.

(255) L.E. Orgel (1975), Int. Jour. Chem., 14, 11-16.

do no fueron en condiciones aceptables en el plano de la evolución química prebiológica de nuestro planeta (256). En estos trabajos se ensayaron varios tipos de nucleótidos activados, demostrándose que los trifosfatos no realizan una condensación detectable en estas condiciones y sí en cambio experimentan hidrólisis hasta monofosfatos; asimismo se probaron los ciclofosfatos (2',3') de nucleósidos que dieron excelentes resultados cuando reaccionaban en presencia de alquilidiaminas, como la propiléndiamina o la etiléndiamina (257). Los fosforimidazólidos demostraron una efectividad tal que produjeron enlaces fosfodiéster hasta en un 50% (258). En términos generales, estos enlaces fueron de 2 terceras partes del tipo 2'→5', un 30% del tipo 5'→5' y sólo un 2%, aproximadamente, enlaces 3'→5' (254).

En todos estos experimentos se forman triples hélices entre dos cadenas de polipirimidinas (Poli-U o Poli-C), y los nucleótidos o nucleósidos activados de purinas (A y G). Según parece, las alquilidiaminas de cadena corta estabilizan la triple hélice y catalizan la formación de los enlaces internucleotídicos (257). Las triples hélices pueden representarse así:



Esta triple hélice está formada por dos cadenas poliméricas del ácido uridílico con nucleósidos y nucleótidos de adenina: 2 poli-U:A 6 2 Poli-U:pA, respectivamente.

Para el caso de las plantillas a base del ácido citidílico, se puede escribir:

- (256) J.Sulston, R.Lohrman, L.E.Orgel y H.T. Milán (1968), Proc.Nat.Acad. Sci., U.S., 59, 726; e: ibid., 60, 409.
 (257) M.Renz, R.Lohrman y L.E.Orgel (1971), Biochim.Biophys.Acta, 240, 463-4
 (258) H.J.Weimann, R.Lohrman, L.E.Orgel, H.Schneider-Bernloehr y J.E.Sulston (1968), Science, 161, 387.

2 Poli-C:G ó 2 Poli-C:pG. Estas estructuras responden al modelo de apareamiento de bases de Watson y Crick, en cuanto a la complementariedad de bases: A:U, G:C. Sin embargo, estas hélices triples formadas por nucleósidos o nucleótidos activados y las plantillas polipirimídicas no son tan estables como las hélices formadas por material polimérico exclusivamente. Aquéllas son más lábiles al calor, decomponiéndose a los 12°C (256) y por lo tanto estos experimentos han tenido mayor eficacia a temperaturas inferiores a la antedicha, por ejemplo a 0°C, a menos que se intente condensar dos oligonucleótidos para dar un compuesto de mayor peso molecular (251).

Es curioso que la condensación de nucleótidos o nucleósidos de pirimidinas no se pueda realizar en presencia de plantillas de poliadenilato (Poli-A), o de poliguanilato (Poli-G), y ni siquiera se forman las correspondientes triples hélices. No obstante, estos científicos reportan la condensación de dinucleótidos heterogéneos como pUpG y pCpA sobre plantillas con bases complementarias (255), lo cual puede ser de gran relevancia en relación al origen del código genético (infra, V.3.3). Con el fin de garantizar una mayor proporción de enlaces internucleotídicos, 3'→5', se realizaron experiencias con 2'-desoxinucleósidos y 2'-desoxinucleótidos activados (generalmente imidazólibidos), sobre plantillas de poli-U (259), y poli-C (260). Pese a que de este modo se garantiza la formación de un mayor porcentaje de enlaces naturales (3'→5'), el producto obtenido presenta principalmente enlaces 5'→5' en una proporción aproximada de 71% (259). Este fenómeno aún no tiene una explicación clara o plenamente satisfactoria. Orgel señala que la baja reactividad nucleofílica de los grupos 3'-OH quizá esté aumentada en estos casos por factores estéricos que actúan en contra de la formación de enlaces 3'→5' (255) (*).

(259) H. Schneider-Bernloehr, R. Lohrman, J. Sulston, B.J. Weimann y L.E. Orgel (1968), J. Mol. Biol., 37, 151-155.

(260) J. Sulston, R. Lohrman, L.E. Orgel, H. Schneider-Bernloehr y B.J. Weimann (1969), J. Mol. Biol., 40, 227-234.

(*) Un estudio sobre estos problemas y la evolución posible de los enlaces internucleotídicos 2'→5' a los 3'→5' se trata en: D.A. Usher (1972), New Biology, 23, 207-208 y, en: P.A. Pitha y J. Pitha (1972), New Biology, 240, 78-80.

El grado de policondensación logrado en estos trabajos experimentales con plantillas polipirimídicas difícilmente rebasa el de un hexámero (261). Esto se explica en gran parte sobre la base de cálculos de equilibrio químico (257). Orgel y Lohrman et al. indican que el objetivo de estos experimentos es la demostración de que es posible la replicación de polinucleótidos en ausencia de enzimas, bajo condiciones prebióticas plausibles (260), y por ello han planteado, entre otras, la necesidad de intentar el alargamiento de las cadenas de oligonucleótidos (251), que en cierta medida han conseguido recientemente Usher y McHale (262). En efecto, estos investigadores han podido condensar, en contra de lo esperado por los cálculos de equilibrio mencionados arriba, hasta dodecámeros y octadecámeros por la unión de dos oligonucleótidos (oligoadenilatos exactamente), mediante un adonilato activado como 2',3'-ciclofosfato de adenosina y en presencia de una plantilla de poli-U. La condición sine qua non para esta síntesis es que los enlaces de los oligonucleótidos reactivos: (hexámeros, heptámeros, etc), sean 3'→5', lo cual no parece difícil de lograr como ha podido observarse en experimentos como los de Ibáñez y sus colaboradores (supra). Como era de esperarse, los enlaces así formados son del tipo 2'→5' en un 90%, aproximadamente (262).

Con el propósito de aumentar el rendimiento de estas síntesis y de aumentar el peso molecular de los productos, Lohrman y Orgel han ensayado en los últimos años con derivados aminados de nucleósidos los cuales hacen reaccionar con fosforimidazóolidos, en presencia y en ausencia de plantillas (261, 263, 264, 265), en solución acuosa. Estos derivados pueden formar también triples hélices con plantillas de poli-U, por ejemplo, lo cual quiere decir que la estabilidad de las estructuras

(261) R. Lohrman y L.E. Orgel (1976), J.Mol.Evol., 7, 253-267.

(262) D.A. Usher y A.H. McHale (1976), Science, 192, 53-54.

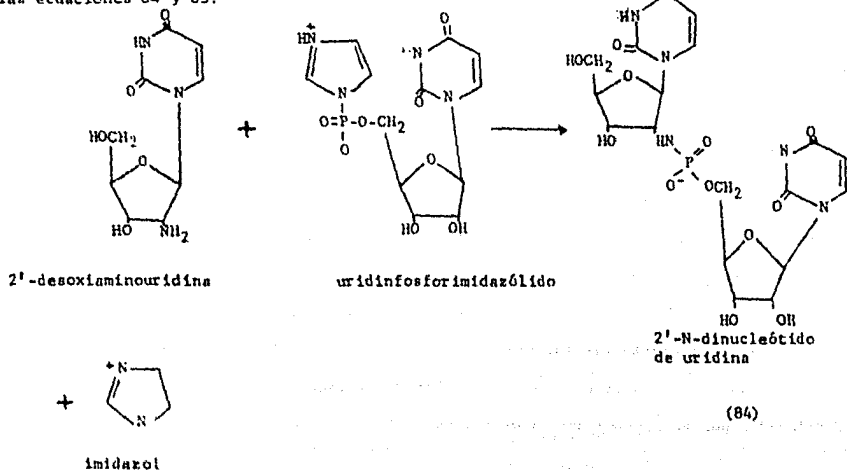
(263) D.E. Gibbs y L.E. Orgel (1976), J.Mol.Evol., 8, 55-58.

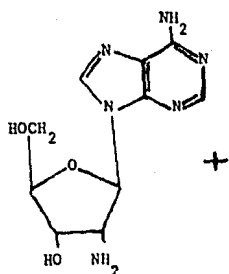
(264) R. Lohrman y L.E. Orgel (1976), Nature, 261, 342-344.

(265) R. Lohrman y L.E. Orgel (1977), J.Mol.Evol., 9, 323-328.

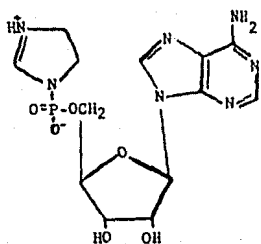
helicoidales formadas así no es afectada de manera importante por el reemplazo de los grupos oxhidrilos por grupos amino (263). Los 2'-aminonucleósidos o amino nucleótidos se hacen reaccionar con un nucleótido activado en la forma de fosforimidazólido. Los resultados demuestran que estos reactivos reaccionan 50 ó 100 veces más rápido que los nucleósidos o los nucleótidos normales (261,264,265), tanto en ausencia (261) como en presencia de plantillas (263,264,265). Lohrman y Orgel informan que el grado de policondensación máxima detectada sobre una plantilla de poli-U es de 35 residuos de fosfato de 2'-aminoadenosina, lo que demuestra que los nucleósidos 2'-aminados se muestran mucho más activos que los nucleósidos naturales (264). En consecuencia, no es extraño que estas reacciones ocurran a bajas concentraciones en medio acuoso (~ 0.025 M) (265). La mayor parte de los experimentos se han realizado a un pH de 7.5 y a una temperatura de 0°C a 40°C, mostrándose más efectividad a temperaturas bajas cuando emplean las plantillas pues las hélices triples no son estables a temperaturas mayores a los 10°C.

Las reacciones efectuadas en estos experimentos pueden resumirse en - las ecuaciones 84 y 85:

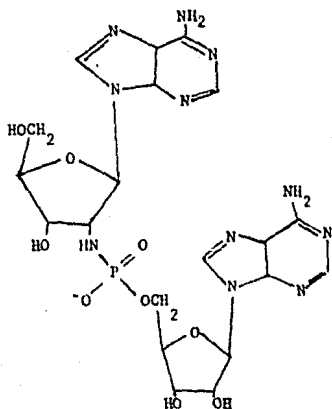
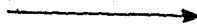




2' desoxiaminoadenosina



adenosinofosforimidazólido



imidazol

(85)

El grupo amino mejora enormemente la velocidad de reacción debido a su fuerte carácter nucleofílico, lo cual permite el ataque de éste al átomo de fósforo del residuo de fosfato, formándose así un fosforamido. Lo que salta a la vista es el problema de la factibilidad de estos aminoderivados de nucleósidos o nucleótidos en el ambiente prebiológico de la Tierra. ¿Pudo haber evolucionado un sistema replicativo a partir de aminonucleótidos activados y sólo más tarde fueron reemplazados por el sistema actual de ácidos nucleicos? (264). Hasta el momento -

no han podido obtenerse aminonucleótidos en condiciones prebióticas simuladas y todo parece indicar que es muy poco probable que estos compuestos hayan jugado un papel relevante en la evolución química de este planeta en épocas remotas.

Por último, se pueden mencionar aquí los experimentos en condiciones hipohidrosas (estado sólido). El equipo de Lohrman y Orgel, siguiendo la línea de producción de nucleótidos (128-132), pudieron obtener hexámeros de la adenosina calentando hasta evaporación el 2',3'-ciclofosfato de adenosina en presencia de diaminas alifáticas a pH alcalino (~ 8), a temperaturas entre 25 y 85°C y en ausencia de plantillas (266). En estas condiciones se forman predominantemente enlaces fosfodiéster 3'→5' notándose además que los compuestos como la polilisina en presencia de imidasol no dan altos rendimientos como catalizadores en estas condiciones (hipohidrosas), a diferencia de los resultados de Ibáñez et al., en solución acuosa (245-247) (266).

Por su parte, el equipo de investigadores encabezados por Juan Oró ha sintetizado oligodesoxinucleótidos de timina por calentamiento hasta sequedad relativa (condiciones hipohidrosas), manteniendo luego la temperatura a 60°C durante 18 horas. La mezcla reactiva puede estar constituida por 5'-monofosfato de desocitimidina (dTMP), 5'-trifosfato de desoxitimidina (dTTP), cianamida, AICA (4-aminoimidazol-5-carboxamida) y cloruro de amonio (NH_4Cl), a un pH de 7.0 (267). Cuando sólo se emplea dTMP, sin el dTTP, se producen muy bajos rendimientos de oligonucleótidos (268,269,270); igualmente, el 5'-trifosfato de desoxitimidina no condensa fácilmente consigo mismo bajo estas condiciones (269). El principal producto obtenido mediante la -

-
- (266) M.S. Verlander, R. Lohrman y L.E. Orgel (1973), J. Mol. Evol., 2 303-316.
(267) E. Sherwood, A., Joshi y J. Oró (1977), J. Mol. Evol., 10, 193-209
(268) J.Oró y E.Stephen-Sherwood (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds (1974), op. y ed. cit. (47), vol. 1, pp. 159-172.
(269) E. Stephen-Sherwood, D.G. Odom y J. Oró (1974), en: J. Oró S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (47) vol. 2, pp. 301-308. Originalmente publ., en J. Mol. Evol. (1974), 3, 323-330.
(270) E. Sherwood y J. Oró (1977), J. Mol. Evol., 10, 183-192.

reacción de dos moléculas de dTMP es el pirofosfato de didesoxitimidina (dT₂PP₂T) (269,270), cuya alta estabilidad y proporción entre los productos aislados lo hace factible como precursor en la síntesis de los enlaces fosfodiéster al reaccionar con el dTTP (267,270). El grado de polimerización logrado por estos medios es de 7 u 8 residuos de monómeros, cuando se emplean todos los reactivos y las proporciones adecuadas (267). Los porcentajes de estos productos son relativamente altos (hasta un 80%), los cuales comprenden un espectro de oligonucleótidos con 2 a 8 residuos (267), cuyos enlaces son fundamentalmente 3'→5'.

El empleo de NH₄Cl, ya se ha visto, obedece al hecho de que la cianamida actúa óptimamente a un pH ácido (v. supra) (249), y el papel ejercido por el AICA es el mismo que para el caso de la síntesis de péptidos en esta misma línea de investigación (219, 271). De manera semejante se ha logrado sintetizar acilglicérols con la cianamida en presencia de imidazol, actuando sobre el palmitato de amonio y el glicérol (272).

Debe mencionarse además que el dTTP da mejores resultados que otros polifosfatos lo cual es explicado por Oró y sus colegas como debido a la formación de trimetafosfato que es más estable (268) en esas condiciones.

Finalmente, es necesario señalar aquí que algunos otros métodos planteados para la síntesis de péptidos también se han sugerido o desarrollado para el caso de los polinucleótidos, bajo condiciones prebióticas simuladas, como es el caso de algunas micelas coloidales de naturaleza hidrocarbonada que sirvieran como matrices adsorbentes de manera semejante a las arcillas, sugerida por Armstrong y colaboradores (236), y los materiales orgánicos poliméricos como la melanoidina con las mismas funciones, sugerida por Nissenbaum, Kanyon y Oró (235) (v. supra IV, 2.2c).

(271) J. Oró y E. Stephen-Sherwood (1976); Origins of Life, 7, 37-47.

(272) J. Eichberg, E. Sherwood y J. Oró (1977); J. Mol. Evol., 10, 221-230.

4. DISCUSION

Lo expuesto en este capítulo constituye un resumen de los conocimientos más importantes, emanados del trabajo experimental, con que se cuenta en la actualidad en relación al problema de la evolución química. Sin embargo, estos aspectos sobre la biogénesis enfrentan muchos problemas que aún no se han resuelto. - Uno de los más relevantes es el del origen de la asimetría molecular, o mejor dicho, de la quiralidad específica de compuestos orgánicos fundamentales en los seres vivos, como los L-aminoácidos y los D-azúcares que forman parte de las proteínas y de los ácidos nucleicos, respectivamente. Hasta la fecha no se ha logrado dar una respuesta satisfactoria respecto al origen de la asimetría óptica en los compuestos bioquímicos. Ha habido no pocos intentos para producir estos compuestos pero casi todos se han realizado con un enfoque ajeno al de la evolución prebiológica, por lo que en este sentido se han formulado más conjeturas que pruebas experimentales convincentes, casi siempre basadas en los resultados obtenidos por la química sintética clásica (273,274,275). Entre las diversas hipótesis y ensayos experimentales destacan: la selección de isómeros ópticos por efecto de los electrones polarizados resultantes de la desintegración (276-279), síntesis de enantiómeros por la adsorción diferencial y catálisis de superficies de algunos minerales cristalinos (280-281) y la selección asimétrica de enantiómeros por medio de la -

(273) G.Wald (1957), Ann.N.Y. Acad.Sci., 69, 352-368.

(274) W.A. Bonner (1972), en: C.Ponnampertuna, ed. (1972), op.y ed. cit. (121), pp. 170-234.

(275) F. Vester (1974), J. Mol. Evol., 4, 1-13.

(276) A.S. Garay (1968), Nature, 219, 338.

(277) W.A. Bonner (1974), J. Mol. Evol., 4, 23-39.

(278) P.H. Noyes, W.A. Bonner, J.A. Tomlin (1977), Origins of Life, 8, 21-23.

(279) D.C. Walker (1976), Origins of Life, 7, 383-387.

(280) W.A. Bonner y J. Flores (1973), BioSystems, 2, 103-113.

(281) L.G. Harrison (1974), J. Mol. Evol., 4, 99-111. Véase también: S. Akabori, op. y ed. cit. (199).

luz ultravioleta polarizada circularmente (282). La falta de un indicio factible acerca del origen de la actividad óptica de los componentes orgánicos más importantes de los seres vivos, ha llevado a algunos autores a suponer que dicho origen fue resultado de un accidente (19,283). Otros, en cambio, indican que esa propiedad apareció por un proceso gradual de selección molecular (80, 284), o cuando aparecieron los primeros organismos (273).

Por otra parte, el éxito obtenido en los experimentos en condiciones geoquímicas simuladas de la época prebiótica de nuestro planeta, especialmente por lo que se refiere a la síntesis de biomonómeros, ha obedecido de manera fundamental al empleo de atmósferas más o menos reductoras, dentro de la línea señalada por Oparin (4) y Urey (16, 29), o en términos de Ritten (6): la síntesis abiótica de compuestos de importancia biológica en el contexto de la evolución química requiere forzadamente una atmósfera anoxigénica (sin oxígeno libre). Se ha visto, asimismo, que una atmósfera compuesta por compuestos carbonados muy oxidados como el CO_2 junto con el agua y el N_2 no producen compuestos orgánicos de trascendencia biológica. En cierta forma se puede decir que algo parecido sucede cuando se tiene una atmósfera rica en hidrógeno, pues si bien se forman compuestos de significación biológica, éstos no presentan una gran diversidad ni gran complejidad. Sin embargo, las apreciaciones de algunos geólogos y de los geoquímicos interesados en el problema, han planteado que la atmósfera primaria de la Tierra, que era relativamente rica en hidrógeno, así como en amoníaco y metano, se perdió prematuramente siendo substituida por una atmósfera secundaria gracias a las emanaciones gaseosas de los volcanes que se supone fueron mucho más frecuentes de lo que son ahora (24-28,285,286). Por

(282) H.B. Kagan, G.Valavoine y A.Moradpour (1974), J. Mol. Evol., 4, 41-48.

(283) L.E. Orgel (1973), The Origins of Life: Molecules and Natural Selection, ed. John Wiley & Sons, Nueva York, p. 167

(284) J. Oró (1976), en: A.Kornberg, ed. (1976), Reflexions on Biochemistry, pp. 423-443.

(285) S.I. Rasool y W.E. Mc Govern (1966), Nature, 1225-1226.

(286) P.E. Cloud (1968), Science, 160, 729-736.

lo tanto, estos autores consideran que casi todos los experimentos bajo condiciones simuladas realmente están muy alejadas de la realidad geológica de la Tierra primitiva, ya que el examen de las rocas más antiguas testimonia una atmósfera muy pobremente reductora formada por CO_2 , principalmente. Empero, como ha hecho notar Lemmon (182), las rocas más antiguas datan de unos 3.5×10^9 años y la Tierra se consolidó entre 5×10^9 a 4.5×10^9 años. Ahora bien, en el lapso de mil millones de años, que van desde 4.5×10^9 a 3.5×10^9 , es precisamente el tiempo en el cual se desarrolló la evolución química que desembocó en el origen de los primeros organismos; seguramente para entonces la atmósfera había cambiado sensiblemente. Es pues prematuro asegurar por simple extrapolación hacia el pasado en unos mil millones de años, que la evolución química no se dio como se sugiere en el enfoque experimental de la misma, no obstante, en la medida en que carezcamos de una información geológica aceptable de ese pasado tan remoto la controversia en este sentido seguirá seguramente en pie.

Por otro lado, los resultados obtenidos por los experimentos con atmósferas primitivas simuladas coinciden sorprendentemente con los hallazgos astronómicos y cosmoquímicos. Un ejemplo patente de la afirmación anterior lo constituye el descubrimiento de moléculas orgánicas en el espacio exterior, distribuidas en enormes nubes más o menos densas, de gas y polvo. En dichas nubes se han reportado sustancias como el formol, el cianoacetileno, el ácido fórmico, el alcohol metílico, etc. (Inira, V, 4, Tabla, 1) (287-291), además del amoníaco, el sulfuro de

(287) B. Donn (1972), en: C. Ponnamperuma, ed. (1972), op. y ed. cit. (121), pp. 431-448.

(288) B.E. Turner (1973), Sci. Amer., 228 (3), 50-69.

(289) B.E. Turner (1973), en: M.A. Gordon y L.E. Snyder, eds. (1973), op. y ed. cit. (32), pp. 143-154.

(290) G.H. Herbig (1974), Am. Scientist, 62, 200-207.

(291) J. Lequeux (1975), La Recherche, No. 54, 255-257.

hidrógeno y el agua.

Quizá aún más sorprendente sea el otro ejemplo, que lo constituye el descubrimiento de gran número de substancias orgánicas, incluyendo hasta aminoácidos y algunas pirimidinas en los meteoritos carbonosos (condritas carbonosas (292-296), así como la presencia de precursores de aminoácidos, como los aminonitrilos y otros, en algunas muestras lunares (296-297). Asimismo, se sabe que los cometas cuentan entre sus principales componentes al cianuro de hidrógeno (HCN), al amoníaco y al agua, por lo que es lógico pensar que en estos cuerpos celestes pueden realizarse reacciones diversas por la acción de los rayos ultravioleta del Sol, especialmente en el perihelio. Estas consideraciones han servido de base a algunos científicos para suponer que una cantidad substancial de compuestos de carbono y nitrógeno pudieron enriquecer a la Tierra por la caída de cometas en ella (infra, V, 4) (62,88,284,298,299). Esta idea también podría extenderse al caso de los meteoritos cuyo encuentro con la Tierra es más frecuente, aunque éstos contienen menor proporción de compuestos de carbono (infra, V, 4). Esta hipótesis, como señala Oró, no debe contemplarse como una alternativa de la propuesta por Oparin y Urey, principalmente, sino como un complemento de la misma (88).

Por lo que se refiere a las fuentes de energía empleadas, algunas de ellas se han utilizado sólo para ayudar a entender la evolución química y no necesariamente para reproducirla (79); tal es el caso del bombardeo con electrones (partículas beta), las radiaciones alfa y gama. Quizá, en el contexto real de la evolución química terrestre, la energía proveniente del Sol en forma de luz ultravioleta haya

(292) K. Kvenvolden, et al., (1970), Nature, 228, 923-926.

(293) G. Lawless, C.E. Folsome y K.A. Kvenvolden (1972), Sci. Amer., 226 (6), 38-46.

(294) J.G. Lawless, y E. Petterson (1974), en: J. Oró, S.L. Miller, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (47), vol. 2, pp. 3-8.

(295) K.A. Kvenvolden (1974), en: K. Dose, S.W. Fox, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (45), pp. 301-309.

(296) K. Harada, P.E. Hare, C.R. Windsor y S.W. Fox (1971), Science, 173, 433-435.

(297) G. Eglington, J.R. Maxwell y C. Pillinger (1972), Sci. Amer., 227 (4), 81-90.

(298) J. Oró (1963), Nature, 197, 971-974.

(299) J. Oró (1972), Space Life Sci., 3, 507-550.

sido la fuente más importante de energía. Las pruebas con descargas eléctricas, sin embargo, han sido las que han merecido mayor atención por la facilidad de su empleo y el alto rendimiento y diversidad de los productos obtenidos, debido, sin duda, a que es una fuente de varias formas de energía a la vez (*). De todas maneras, los resultados producidos por distintas clases de energía son prácticamente iguales, por lo que cada una de ellas pudo muy bien contribuir a la síntesis abiótica de compuestos orgánicos de trascendencia biológica.

Además de haberse logrado exitosamente la síntesis abiótica de biomonómeros tan importantes como los aminoácidos y las bases púricas y pirimidicas, se han podido producir otros compuestos que juegan un papel relevante en el metabolismo. Tal es el caso de las porfirinas (300,301,302), principalmente obtenidas a partir del pirrol (**) y del benzaldehído en solución acuosa y mediante la acción de la luz ultravioleta (o de las descargas eléctricas), en presencia de algunos óxidos metálicos como el de zinc y el de titanio (ZnO y TiO₂), y de una pequeña cantidad de oxígeno (302). Por desgracia, todavía no se pueden producir tan exitosamente otros compuestos como los monosacáridos y los nucleósidos, pues pocos experimentos han producido resultados aceptables acordes con los requerimientos geoquímicos (78, 123, 135, 303-306).

Muchos de los experimentos se han ejecutado en condiciones poco probables o totalmente en contradicción con los postulados de la teoría de la evolución qui-

(*) Oró considera que hay tres formas fundamentales de energía: térmica, radiación ionizante y luz ultravioleta; esta última es la más selectiva debido a que su absorción depende de la naturaleza del compuesto irradiado. En las descargas eléctricas se conjugan esas tres formas de energía (62).

(300) A. Szutka., (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (62), pp. 243-252.

(301) G.W. Hodgson y C. Ponnampuruma (1968), Proc.Nat. Acad. Sci. U.S., 59, 22-28.

(302) A.A. Krasnovsky y A.V. Umrikhina (1972), en: D.L. Rohlffing y A.I. Oparin, eda. (1972), op. y ed. cit. (147), pp. 141-150.

(**) Por su parte, el pirrol es fácilmente sintetizado en condiciones geoquímicas simuladas por efecto de descargas eléctricas sobre una mezcla de amoníaco y acetileno o por la luz ultravioleta sobre el ácido β -aminolevulinico (301).

(303) L.R. Orgel, C. Ponnampuruma y C. Reid (1967), Nature, 216, 936.

(304) R. A. Sánchez y L.E. Orgel (1970), J. Mol. Biol., 47, 531-543.

mica. A despecho de esto, tales ensayos deben a lo sumo ilustrar acerca de mecanismos de reacción, o para entender mejor una etapa de esa evolución, y no para reproducirla, tal como sucede con el empleo de ciertas fuentes energéticas.

Por otra parte, se debe ser muy cuidadoso en las interpretaciones de los resultados, pues en no pocas ocasiones el porcentaje de los productos sintetizados es extremadamente bajo (>0.1 ó 0.001%). En tales casos debe pensarse muy seriamente en las posibilidades de contaminación. Fox y Dose (8) estiman que los rendimientos de 1 a 15% pueden ser realmente significativos, siempre y cuando se toman en cuenta los factores geológicos que se supone prevalecieron en la Tierra primitiva. Empero, puede en la actualidad considerarse como plausible un rendimiento menor del 1%, dado que cada vez se dispone de métodos analíticos más refinados y sensibles que siempre están combinados, de otra forma habría que descartar, de este terreno, a más de la mitad de los experimentos realizados hasta ahora. Desde luego que un rendimiento bajo en los productos repercute en la probabilidad de subsistencia y ulterior evolución de esas sustancias sintetizadas. Una baja proporción de biomómeros producidos difícilmente podría garantizar una síntesis plausible de biopolímeros, sobre todo tomando en cuenta los riesgos de descomposición de las sustancias por las mismas fuentes energéticas que las engendraron.

Llegamos así al problema de los mecanismos de concentración que se resumen en la figura No. 9. La hipótesis original de Oparin-Haldane señala que los biomómeros sintetizados en la Tierra primitiva (aminoácidos y nucleótidos, principalmente), sufrieron reacciones de condensación en los océanos, cuyos productos formaban parte de la llamada "sopa primigenia". Esta primera apreciación parece actualmente descartada como plausible, dadas las evidencias suministradas por el enfoque experimental del problema, pero ello no resta valor a la hipótesis general.

La síntesis de compuestos orgánicos con distintas mezclas de reactivos y diversas fuentes de energía en muy variadas condiciones, que más tarde permitie

(305) W.D. Fuller, R.A. Sánchez y L.E. Orgel (1970). J. Mol. Biol., 47, 531-543.

(306) W.D. Fuller, R.A. Sánchez y L.E. Orgel (1972). J. Mol. Biol., 67, 25

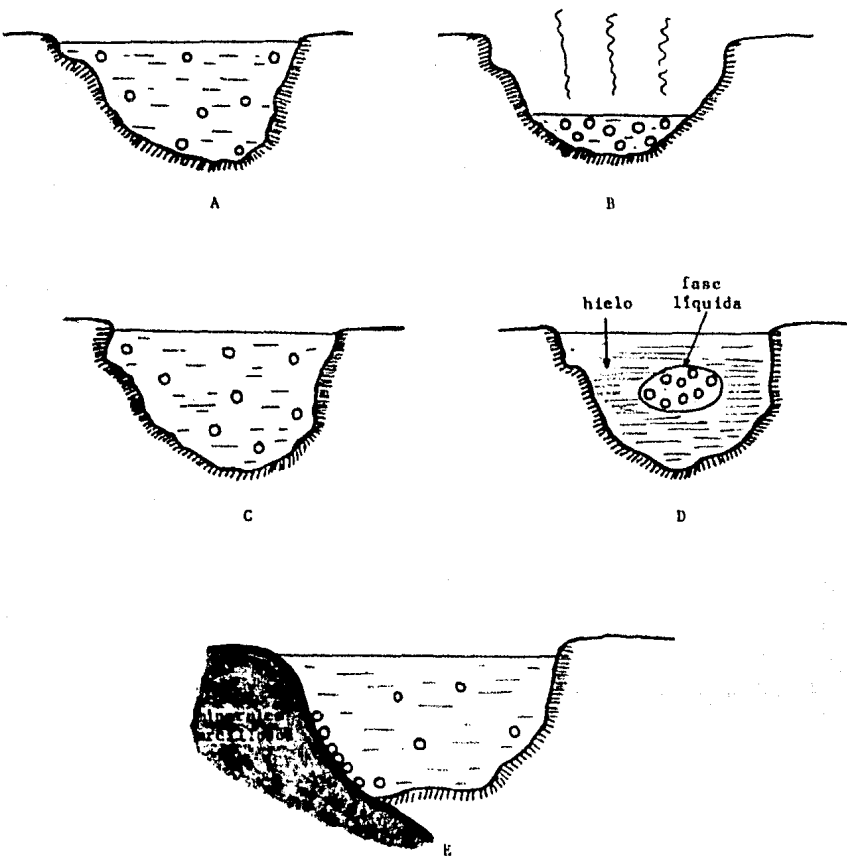


Figura 9.- Diferentes mecanismos de concentración de moléculas orgánicas en el ambiente primitivo de la Tierra, sugeridos por diversos autores, para explicar las policondensaciones en medios acuosos. A y B).- Evaporación de depósitos de agua. C y D).- Concentración por congelación que da origen a mezclas eutécticas. E).- Concentración por adsorción sobre minerales arcillosos. Basado en: (306) D. D. Koob y W. E. Boggs (1972), *The Nature of Life*, ed. Addison-Wesley, Menlo Park, California, pp. 346 - 347.

ron la aparición de las formas más primitivas de vida (protobiontes), indican que fueron más de una las vías que desembocaron en el origen de la vida. Por esta razón en los últimos años se ha preferido hablar de "orígenes de la vida" más que de "origen de la vida", lo cual representa objetivamente un duro golpe para la clásicas ideas casualistas inspiradas por una concepción tramnochada de la probabilidad.

"La naturaleza ama el ocultarse"

Heráclito.

FRONTERAS ACTUALES.

1.- DE LAS MACROMOLECULAS A LOS PRIMEROS ORGANISMOS.

En el capítulo anterior acabamos de ver cómo es posible la formación de biomonómeros y de biopolímeros abióticamente, es decir, sin el concurso de los seres vivos, reproduciendo en el laboratorio las condiciones geoquímicas del Primoevo. Pero aunque estos resultados, que son los más importantes de que se dispone hasta la fecha, allanan el camino hacia la comprensión del origen de la vida, evidentemente no son suficientes para lograrlo, a menos que creamos, como algunos científicos todavía creen, en "moléculas vivientes". Nos estamos moviendo entonces en el terreno más espinoso pero más importante, en la llamada tercera etapa de la biopoyesis (1) o de la evolución química. Es en este contexto donde los problemas se presentan más complejos y de mayor envergadura y en donde la especulación todavía juega el papel central. En consecuencia, este campo de la biogénesis es altamente prolífico para la discusión.

Dadas esas características y el carácter de este trabajo, sólo se mencionarán y analizarán brevemente algunos de los planteamientos más importantes. Asimismo, se analizarán los aportes de la geología, la paleontología y la astronomía respecto de la biopoyesis. Todo esto configura una verdadera frontera actual de nuestro conocimiento acerca del origen de la vida, frontera que, desde luego, no será perenne.

2. MICROSISTEMAS POLIMOLECULARES.

Como es bien conocido, la vida sólo se manifiesta en sistemas extre-

(1) J.D. BERNAL., (1967), The Origin of Life, ed. World Publ.Co., Nueva York.

madamente complejos cuya mínima expresión es la célula. Precisamente una de las cuestiones más intrigantes es cómo pudo surgir la organización celular. Es razonable pensar que las primeras células fueron bastante diferentes a las que hoy conocemos, toda vez que éstas han sido el resultado de por lo menos 3.5×10^9 años de evolución. Siguiendo una línea de pensamiento científica, eminentemente materialista, es lógico imaginar que las primeras células o protocélulas debieron formarse a partir de agregados moleculares más o menos organizados, de acuerdo con la tendencia de algunas macromoléculas a autoorganizarse (por ejemplo la hélice α de las proteínas y su estructura terciaria), y a asociarse con otras moléculas (proteínas y/o ácidos nucleicos). En dichos agregados moleculares con cierto grado de organización o, en términos más precisos, en esos microsistemas polimoleculares, pudieron llevarse a efecto algunos procesos físicoquímicos elementales de los cuales dependía la propia integridad y las cualidades de los microsistemas; o sea, en las mencionadas microestructuras pudieron manifestarse los primeros procesos metabólicos.

Se han fabricado en el laboratorio diversos modelos de microsistemas polimoleculares que intentan reproducir a las supuestas protocélulas, los cuales se describen a continuación brevemente.

2.1. CONSERVADOS DE OPARIN.

Entre los años de 1931 y 1932, Bungenberg de Jong descubrió el fenómeno de Conservación, el cual llamó fuertemente la atención de Oparin pues se adecuaba ad hoc con sus ideas iniciales del origen coloidal de la vida (2), por lo que los conservados fueron incluidos como modelos precelulares en la edición de 1936 de su libro (3). Desde entonces Oparin y sus colaboradores han venido

- (2) A.I. Oparin, (1924), Proisakhozhdenie zhizny, Moscú; trad. al inglés (The Origin of Life) por Ann Sygne y publ. como apéndice en: J.D. Bernal (1967), op. y ed. cit. (1) pp. 199-234.
(3) A.I. Oparin (1953), Origin of Life, ed. Dover, Nueva York, pp. 137-162.

trabajando experimentalmente con dichos modelos.

Un coacervado es un sistema coloidal concentrado que resulta de la coalescencia de las micelas coloidales al reducirse el agua de su capa de solvatación (4), lo cual puede obedecer a una disminución de la capacidad de hidratación de las micelas por una modificación de su carga eléctrica o por efecto de factores deshidratantes (4,5). Los coacervados importantes desde el punto de vista prebiótico, son los llamados coacervados complejos que resultan de la integración de dos o más coloides hidrófilos de carga opuesta, tales como la gelatina y la goma arábiga (4,5). Este tipo de coacervados puede mostrar aspectos morfológicos semejantes en apariencia a algunos organelos o estructuras celulares como las vacuolas, el aparato de Golgi, las inclusiones lipídicas y otras (4). Ciertos autores han estimado que algunas de dichas estructuras se producen por un proceso de coacervación (6). Debe añadirse también que los coacervados pueden formarse a partir de soluciones coloidales muy diluidas, del orden de 0.001% (3,5), por lo que resultan ser sistemas individualizados, separados del medio circundante (líquido equilibrante) por una interfase, o membranas que permite el intercambio de sustancias entre los coacervados y el líquido equilibrante; en consecuencia, se trata de microsistemas abiertos en los que por tal virtud puede variar la concentración de materiales la cual, por otra parte, es siempre cientos de veces mayor que la del medio ambiente (3,5).

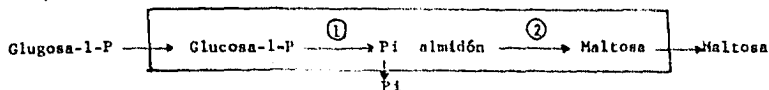
Está claro que para la formación de los coacervados es indispensable la presencia previa de sustancias de peso molecular elevado, es decir, de biopolímeros.

Las características y la estabilidad relativa de los coacervados va

- (4) E.D.P. De Robertis, W.W. Nowinski y F.A. Sáez (1963), Citología General, ed. El Ateneo, Bs. As., pp. 47-48.
- (5) A.I. Oparin (1970), Origen de la Vida Sobre la Tierra, Ed. Tecnos, Madrid.
- (6) A.C. Clegg (1968), Fisiología General, Ed. Interamericana, México, pp. 89-90.

rían de acuerdo a su composición; hasta la fecha se han producido más de 250 - sistemas de coacervados hidrofílicos constituidos por dos o más tipos de moléculas (7,8), los cuales miden de 0.5 a 640 μ m (fig. 10).

Oparin y sus colaboradores han realizado diversos experimentos en - los últimos veinte años encaminados a respaldar la hipótesis coacervativa del origen de la vida. Con ese fin han producido coacervados de muy diversa composición y han logrado realizar en su seno algunas reacciones químicas de tipo metabólico en presencia de distintas enzimas (9, 10). Por ejemplo, han podido sintetizar almidón (amilosa) a partir de 1-fosfato de glucosa en presencia de la glucosiltransferasa de la papa en gotas de coacervados constituidas de goma arábiga e histona, a un pH de 6.0 a 6.2. Al mismo tiempo, se ha podido acoplar esta reacción de síntesis con la degradación enzimática ulterior del almidón (amilosa), en la misma gota de coacervado, mediante la β -amilasa (9,10,11-14). Esos procesos se pueden esquematizar como sigue (9-13):



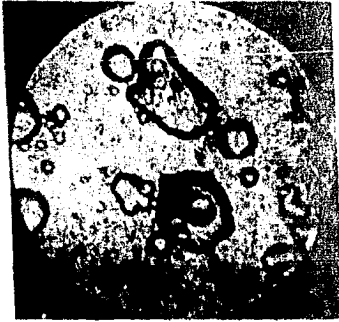
El rectángulo representa a la gota de coacervado. En el esquema se indica la - absorción del 1-fosfato de glucosa al cual sufre la acción de la enzima ① ,

- (7) T.E. Evreinova, T.W. Mamontova y V.N. Karnaukhov (1972), en: D.L. Rohlfing y A.I. Oparin, eds. (1972), Molecular Evolution, Prebiological and Biological, Ed. Plenum Press, Nueva York, pp. 361-370.
- (8) T.E. Evreinova, T.W. Mamontova, V.N. Karnaukhov, S.B. Stephanov y U.R. Hrust, (1974), en: J.Oró, S.L. Miller, C. Ponnampuruma y R.S. Young, eds. (1974), Cosmochemical Evolution and the Origins of life, ed. D. Reidel, Dordrecht, vol.1, pp. 201-205.
- (9) A.I. Oparin (1964), The Chemical Origins Of Life, ed. Charles C. Thomas, - Springfield, pp. 42-73.
- (10) A.I. Oparin (1968), Genesis and Evolutionary Development of Life, ed. Academic Press, Nueva York, pp. 101-126.
- (11) A.I. Oparin (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pasynski et al., eds. (1959), The Origin of Life on the Earth, ed. Macmillan Co., pp. 428-436.
- (12) A.I. Oparin (1965), en: A. Meister, ed. (1965), Advances in Enzymology, ed. John Wiley & Sons, Nueva York, vol. 27, pp. 347-380.
- (13) A.I. Oparin (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), The Origin of Prebiological Systems and of their Molecular Matrices, ed. Academic Press, Nueva Yor, pp331-341.
- (14) A.I. Oparin (1963), en: A.I. Oparin, ed. (1963), Evolutionary Biochemistry, ed. Pergamon Press, Oxford, pp. 69-85.

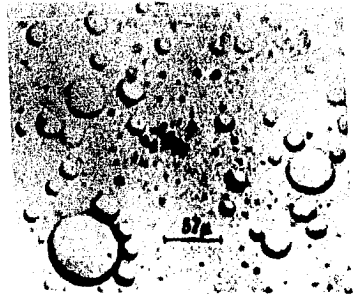
o sea, la glucosiltransferasa, que lo transforma en almidón; éste, a su vez, es degradado hasta el disacárido maltosa por medio de la β -amilasa (2). En el esquema se indica la salida de la maltosa y del fosfato inorgánico de la gota de coacervado.

Como una consecuencia de la primera reacción que es de polimerización, la gotita de coacervado aumenta de volumen, es decir, crece. Esto puede verificarse fácilmente cuando la gotita coacervativa no contiene la segunda en rima. De otro modo, se establece un equilibrio que depende de las velocidades relativas de cada reacción, la cual puede ser modificada variando la concentración de cada una de las enzimas y de los substratos, o bien cambiando las condiciones óptimas de las reacciones, permitiendo de ese modo el crecimiento, el estancamiento o la desintegración del sistema. Como habrá podido constatarse, en estos procesos se establece un intercambio de materiales con el medio ambien te. De manera semejante se puede polimerizar el ADP (difosfato de adenosina) - hasta poli-adenina en presencia del polinucleótido fosforilasa bacteriana introducido en una gota de coacervado integrada por ADN e histona a un pH de 9.5 (13), o se puede efectuar la degradación de la poli-A por efecto de la ribonucleasa y la de cualquier otro polinucleótido (13).

Los procesos de síntesis, como se sabe, sólo pueden desencadenarse con compuestos activados, ricos en energía, tales como la glucosa fosfatada y el difosfato de adenosina (ADP), compuestos que quizá pudieron producirse abió ticamente durante el Primoavo en cantidades aprovechables (supra, IV,3.1). Por otra parte, considerando que estos compuestos son de importancia capital para la vida y de que su uso por las primeras formas de vida o por los protobiontes finalmente los agotarían, el grupo de científicos soviéticos encabezados por Oparin siguiendo la misma estrategia experimental, han realizado reacciones de



A



B

Fig. No. 10.- Coacervados complejos formados por gelatina, goma arábica y ácido ribonucleico (A), y por goma arábica y gelatina (B) Refs. (96) y (9).

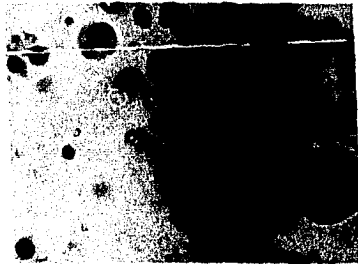
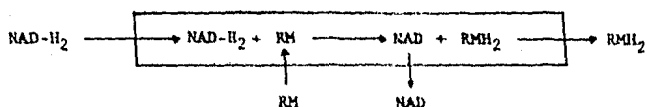


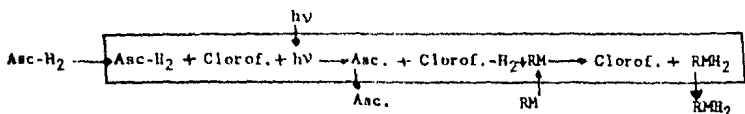
Fig. No. 11.- Gotitas de coacervados conteniendo clorofila preparadas por el equipo de Oparin. (10).

oxidación y reducción de compuestos bioquímicos, que son indispensables para la fabricación de sustancias de alto contenido energético (macroérgicas), como son los compuestos orgánicos fosfatados, especialmente los derivados de la adenina. Uno de sus éxitos ha sido la reducción de algunos compuestos químicos - como ciertos colorantes (p.ej. rojo de metilo, RM), por medio del NAD-H₂ (nicotinamida-adenina-dinucleótido, reducido), también conocido bajo las siglas DPH (difosfo-piridín-nucleótido), en el seno de las gotas de conservados, que se ilustra a continuación (9,10,12,13):



Donde: RM-H₂ , significa rojo de metilo reducido.

Más sonado aún es el éxito alcanzado por este grupo de investigadores al haber logrado la reducción de un compuesto bioquímico con la clorofila incluida en las gotas de conservados; y por lo tanto, se trata de un proceso fotoquímico dentro de un sistema polimolecular, el cual se puede resumir en otro esquema, semejante a los anteriores :

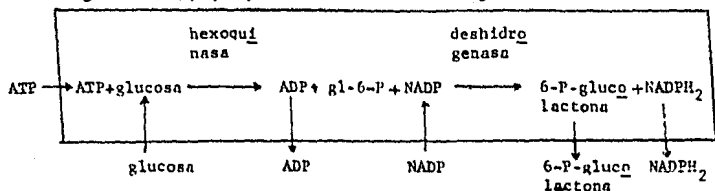


Donde: Asc-H₂ = ácido ascórbico reducido; clorof.-H₂ = clorofila reducida; -hν = energía luminosa; Asc. = ácido ascórbico oxidado y ; RM = rojo de metilo oxidado. (vease fig. 11).

El proceso esquematizado arriba fue logrado por Serebrovskaya y Evgenyev en 1962 (10). Estos trabajos han servido de base para otros empleando

sistemas de conservados más complejos formados por materiales lipídicos y proteínicos y por otro tipo de pigmentos sensibles tanto a la luz ultravioleta como a la luz visible, tales como la riboflavina, los nucleótidos de piridina y otros, los que tendrían un verdadero significado en el contexto del origen de los primeros procesos metabólicos y de los sistemas prebiológicos (15,16,17).

Comparables a los anteriores son los experimentos realizados en diversos coacervados en los que se reproducen otras reacciones bioquímicas de oxidorrreducción como es el caso del comienzo del ciclo de las pentosas, empleando para ello el ATP como activador de la glucosa en presencia de hexoquinasa y NADP como agente oxidativo y bajo la acción catalítica de la glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (18), que puede resumirse en el siguiente esquema:



En donde: ATP= trifosfato de adenosina; ADP=difosfato de adenosina; gl-6-P= 6-fosfato de glucosa; NADP=fosfato de nicotinamida adenina dinucleótido (también conocido como TPN), 6-P-glucolactona=6-fosfato de glucolactona y; NADPH₂= NADP reducido.

Recientemente, Evreinova y otros miembros del equipo de Oparin, han

- (15) K.B. Serebrovskaya (1971), en: R. Buvet y C. Ponnampertuma, eds. (1971), Chemical Evolution and the Origin of Life, Ed. North-Holland, Amsterdam, pp. 297-306.
- (16) K.B. Serebrovskaya, y G.I. Lozovaya (1972), en: D.L. Rohlfing y A.I. Oparin, eds. (1972), op. y ed. cit. (7) pp. 353-359.
- (17) M.S. Kritsky (1971), en: R. Buvet, y C. Ponnampertuma, eds. (1971), op. y ed. cit. (15) pp. 313-315.
- (18) A.I. Oparin (1971), en: A.P. Kimball y J. Oró eds. (1971), Prebiotic and Biochemical Evolution, ed. North-Holland, Amsterdam, pp. 1-7, Véase también: A.I. Oparin (1975), en: A. Lazzcano-Araujo y A. Barrera, eds. (1978), El origen de la Vida, Symposium Conmemorativo en homenaje a A.I. Oparin, Ed. UNAM México, pp. 137-144.

ensayado otros sistemas de oxidorreducción en coacervados formados por histonas, goma arábiga, ADN, enzimas oxidantes como la polifenoloxidasas y la peroxidasa, y, como sustratos, el pirocatecol, el pirogalol y la o-dianisidina (7,8,19).

En estas condiciones los sustratos son eficazmente oxidados por el peróxido de hidrógeno hasta quinonas.

La principal objeción que se ha elevado a este tipo de simulaciones precelulares ha sido que se emplean materiales biológicos típicos, tanto en la constitución de los coacervados como en los procesos que se realizan experimentalmente en ellos. Sin embargo, Oparin y sus colaboradoras insisten en que esto es sólo por comodidad para el trabajo experimental y demostrar de manera preliminar que es posible llevar a cabo procesos químicos de considerable complejidad en tales microsistemas. La tarea en el futuro será ensayar con sustancias exclusivamente sintetizadas por vía abiótica de acuerdo con los trabajos y los postulados de la evolución química. En este sentido, el grupo de Oparin ya ha dado los primeros pasos pues se han producido algunos coacervados con sustancias como la polilisina, sintetizadas abióticamente (13,19).

Entre los rasgos que asemejan a los coacervados con algunas características de las células destacan el de la distribución u organización del material polimérico dentro del coacervado, así como el aspecto vacuolar que con frecuencia presentan estos sistemas (fig.12). Efectivamente Evreinova ha demostrado en estudios con microscopía de interferencia y de luz ultravioleta, así como microscopía electrónica, que la distribución de los materiales en los coacervados no es siempre homogénea (7,20) (fig. 13), mostrándose con esto un primer nivel de organización que recuerda aunque sea remotamente, a la encontrada en

(19) T.N. Evreinova, T.W. Mamontova, W.N. Karnachov y A.N. Dudaev (1971), en: R. Buvet y C. Ponnampertuma, ed (1971), op. y ed. cit. (15) pp.337-344.

(20) T.N. Evreinova (1963), en: A.I. Oparin, ed. (1963), op. y ed. cit (14), pp. 110-113.

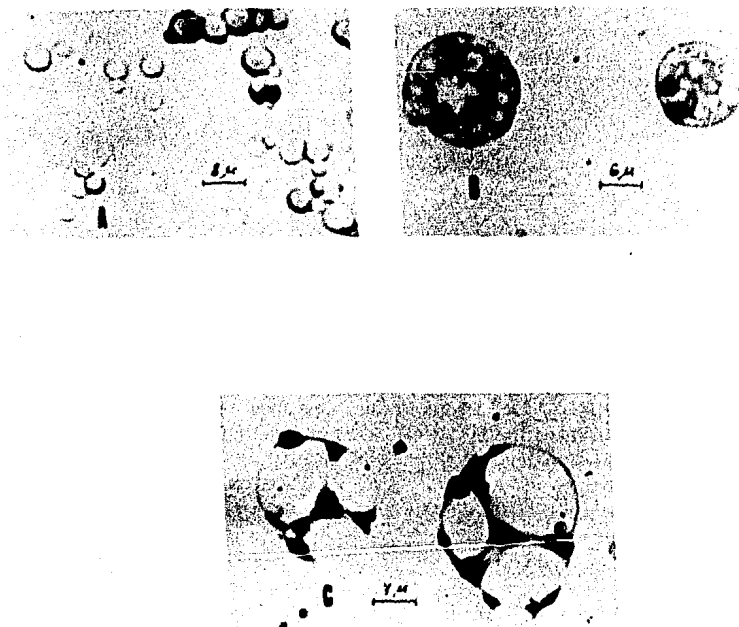


Fig. No. 12.- Estructuras de coacervados a diferentes concentraciones de Buffer de acetato. (A) 0,068 M. (B) 0,23 M. (C) 0,27 M. Nótese el incremento en el aspecto vacuolar de las gotitas, así como el incremento en volumen. (7).

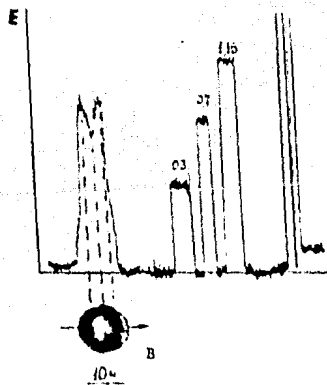
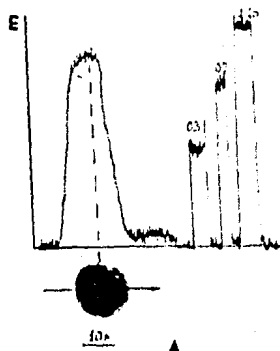
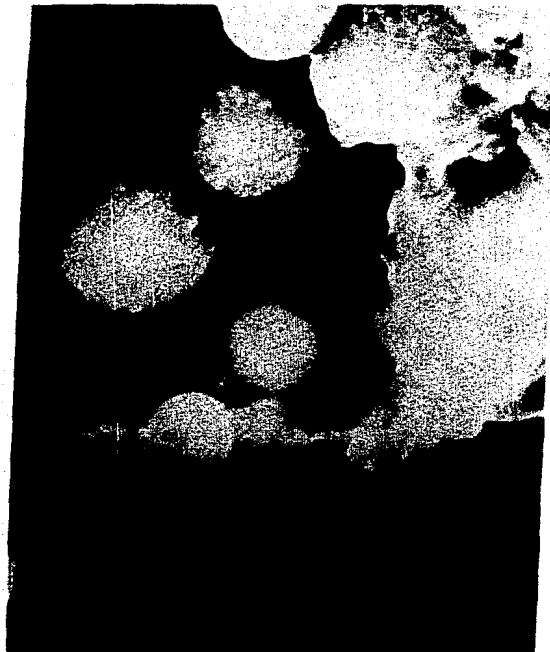


Fig. No. 13.- Distribución de los ácidos nucleicos en gotas de coacervados formados por ARN-clupeína. (A) la gráfica muestra una -- distribución homogénea del ácido nucleico de acuerdo con la absorción por este de la luz ultravioleta. La flecha que atraviesa el esquema del coacervado indica la dirección del rayo de -- luz ultravioleta. (B) en la gráfica se muestra la distribución periférica e irregular del ácido nucleico, notándose una densidad mínima en la parte central del coacervado. Las determinaciones se realizaron con un microscopio de luz ultravioleta y un registrador automático acoplado para determinar la distribución cualitativa y cuantitativa del ARN. Otras pruebas se realizaron con coacervados formados a base de ARN e histona. (20).



A



B

Fig. No. 14.- Gotas de coacervado vistas al microscopio electrónico explorador. (A) Coacervados formados por polifenoloxidasa-histona-goma arábica-quinona (21). (B) Gotas de coacervado que muestran detalladamente su superficie, formadas por peroxidasa-histona-goma arábica-púrpurogalina. (21).

las estructuras celulares. Todas estas características dependen y varían con la composición química y la complejidad del sistema. Lo anterior es especialmente cierto para los coacervados formados por proteínas (clupeína, histonas, etc), y ácidos nucleicos (ARN y ADN) (7,9,10,20). Igualmente, la estabilidad de las gotitas varía de acuerdo con su composición, así por ejemplo las constituidas por seroalbúmina y goma arábiga se desintegran luego de precipitarse en unos 30 minutos a un pH de 6,0 (7,20,21). En cambio los sistemas estables que se precipiten pueden durar íntegros por varios años, ejemplos de ellos son los coacervados formados por proteínas y ácidos nucleicos con enzimas oxidorreductoras como la polifenoloxidasasa (v. supra), y sustratos como las quinonas (21). Este tipo de coacervados estables son capaces de asociarse entre sí formando colonias. (fig.14) (21). Hasta ahora, todos los procesos químicos y de intercambio en el seno de los coacervados se realizan mientras no se alcanza el equilibrio, una vez alcanzado, la actividad de los coacervados se detiene. Por lo tanto, la meta más deseada es conseguir la producción de gotitas de coacervados capaces de mantenerse lejos del equilibrio, es decir, en un constante intercambio de materiales con el exterior mediante permanentes transformaciones químicas acopladas en su interior; en otros términos: lograr la síntesis de sistemas en estado estacionario dinámico (steady-state) (9,10) (v. infra,V,3). De este modo se habrán producido los primeros protobiontes en el laboratorio.

2.2. MICROSPERAS PROTEINOIDES DE FOX .

Estos modelos plurimoleculares propuestos por Sidney W. Fox desde 1959 (22,23), son semejantes en algunos aspectos a los coacervados distinguién-

- (21) T.N. Evreinova, B.L. Aliaxhverdev y V.I. Peshenko (1974), en: K.Dose, S.W. Fox et al., eds. (1974), The Origin of Life and Evolutionary Biochemistry, ed. Plenum Press, Nueva York, pp. 89-95.
(22) S.W.Fox, K.Harada y J.Kendrick (1959), Science, 129, 1221-1223.
(23) S.W. Fox (1960), Science, 132, 200-208.

dose especialmente de éstos por el método de obtención, por su composición química y por diversas propiedades físicoquímicas y morfológicas que serán enunciadas aquí.

El procedimiento para formar microesferas es muy sencillo; basta hervir una solución salina de NaCl al 17, de uno o más proteínoides de Fox (supra, IV,3.2a), o bien añadir la solución salina hirviendo al proteínoides, agitando cuidadosamente conforme se añade la misma, dejando hervir un tiempo la mezcla unos 30 segundos; finalmente se decanta el líquido transparente que resulta de la operación anterior, el cual se deja enfriar para observarlo al microscopio con el objetivo de inmersión (24) (fig.15). En el seno de ese líquido pueden verse las microesférulas proteínoides que miden, en promedio, de 0.5 a 7 μm aunque pueden ser menores de 0.5 μm y alcanzar hasta 80 μm (22-25). Según Fox, por este método es posible producir unos mil millones de microesferas a partir de 1 g. de proteínoides (24).

Como se puede apreciar, estos modelos protocelulares están dentro de la estrategia general adoptada por la escuela de Fox respecto al origen de la vida (supra, IV,3.2.a). Empero, Young demostró que no es necesario en todos los casos el calentamiento para producir las microesferas. Efectivamente algunas de ellas pueden fabricarse mediante simple enfriamiento paulatino (de 25 a 0°C.) de una solución saturada de proteínoides térmicos (supra, IV,3.2a) (26).

Tanto la forma (esférica) como el tamaño de las microesferas son muy uniformes debido a que presentan una gruesa pared rígida que es perfectamente visible al microscopio óptico (fig.15). Esta especie de membrana puede

(24) S.W. Fox y K. Dose (1972), Molecular Evolution and the Origin of Life, ed. Freeman, San Francisco, pp. 196-261.

(25) S.W. Fox (1971), en: A.P. Kimball y J. Oró, eds. (1971) op. y ed. cit. (18) p. 8-30.

(26) R.S. Young (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (13) pp. 347-356.

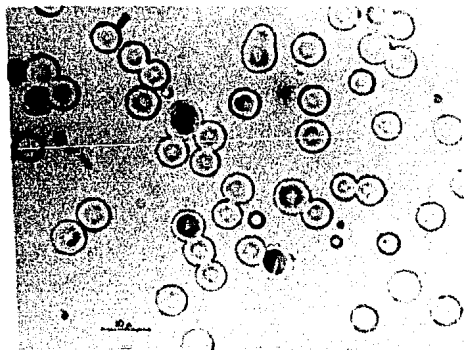


Fig. No. 15.- Fotomicrografías de fase de microsferas proteínoides a diferentes aumentos. En la fotografía superior se muestran microesférulas ricas en prolina. Abajo se observan con gran claridad los collares que unen con frecuencia a estas partículas entre sí. Las flechas (A y B), indican dos collares intactos, en tanto que (C), señala uno roto. (47) y (24).

ponerse de manifiesto muy claramente en microesferas "viejas" (unos 3 meses de edad), en las cuales se observa la contracción del contenido coloidal (27), en forma semejante a como se manifiesta la cápsula de secreción en las células vegetales plasmolizadas. La pared de las microesferas también puede ser doble - cuando el pH de la solución que las contiene se eleva de 1 a 3 unidades (24,25, 27,29). Esa doble membrana puede verse en ocasiones con el microscopio ordinario pero generalmente es evidenciada por el microscopio electrónico (fig. 16). Esta estructura explica en gran medida la gran estabilidad mostrada por las micropartículas de Fox, que pueden ser centrifugadas a 3000 r.p.m. manteniendo su integridad y gracias a lo cual pueden ser incluidas en materiales plásticos como el metacrilato y ser cortadas en el ultramicrotomo (24,26,28,29). También muestran una gran estabilidad ante la desecación; así, cuando se deja secar al aire a la temperatura ambiente una suspensión de microesferas, aparece al microscopio una matriz sólida transparente en la que se observan microesferas desecadas incorporadas en ella. Cuando dicha suspensión es rehidratada (con una solución "buffer" o simplemente con agua), se forman microesferas muy parecidas a las gotas de coacervados ya que presentan una compleja morfología, tamaños variables, facilidad para coalescer, estabilización con las quinonas, etc (30).

Por este y otros hechos (v. infra), diversos autores denominan indistintamente a los coacervados y a las microesferas con el nombre genérico de coacervados por tratarse en realidad de sistemas coloidales condensados, sin embargo, para evitar confusiones seguiré aquí los conceptos originales basados funda-

(27) L.L.Hsu, S.Brooke y S.W. Fox (1971), Curr. Mod. Biol., 4, 12-25.

(28) S.W. Fox (1967), en: S.W.Fox, ed. (1965) op. y ed. cit. (13) pp. 361-373.

(29) S.W. Fox (1967), en: J.A. Thomas, ed. (1967), Bioventae, ed. Masson et Cie, París pp. 249-271.

(30) A.E. Smith y F.T. Bellware (1966), Science, 152, 362-363.



Fig. No. 16.- Dos fotomicrografías electrónicas de microesférulas de Fox, que muestran una doble pared de apreciable grosor. (24) y (48).



Fig. No. 17.- Dos microesferas unidas por un collar que a su vez las comunica, vistas al microscopio de contraste de fase.

Composición: proteínoides de Fox en presencia de sales marinas. (37).

mentalmente en la metodología empleada para producir unos y otros.

La forma de las microesferas puede variar, sobre todo bajo determinadas condiciones como cambios en el pH, la salinidad y especialmente, cuando son formadas a partir de proteínoides alcalinos y no ácidos (31), los cuales, por otra parte, guardan también sorprendente parecido con los concervados.

La membrana que cubre a las microesferas permite el paso selectivo de sustancias diversas, reteniendo en su interior las moléculas poliméricas - que contenga, de manera semejante a como ocurre en los concervados (24,25,28, 29,32).

Fox sostiene que la uniformidad y el tamaño de las partículas micro esféricas representa una similitud importante con respecto a las células, y asimismo, sugiere que existe en ellas un estado de equilibrio, controlado con cierta precisión, entre los procesos de agregación y disgregación, cohesión y dispersión; características que deben estar indudablemente relacionadas con fuertes interacciones internas (24).

Cuando se hace una ligera presión sobre las microesferas (p.ej. presionando el cubreobjetos de la preparación con una aguja), éstas se asocian - formando cadenas que recuerdan a los estreptococos (24,26,28,33). No obstante, reviste mayor interés la asociación espontánea que frecuentemente se observa entre dos o más partículas. La unión entre las microesferas no es superficial, por lo regular se presentan comunicaciones entre ellas mediante un canal corto que aparece como un collar (figs. 15 y 17). Se ha demostrado que a través de esas interconexiones algunas microesferas pueden intercambiar materiales como

(31) D.L. Rohlfsing (1975), Origins of Life, 6, 203-209. También publ. en: J.Oró S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (8), vol. 2, pp. 203-209.

(32) S.W. Fox, (1969), Naturwiss., 56, 1-9.

(33) C. Fromer (1970), en: C.L. Stong (1970), Sci. Amer., 222, 130-139.

las llamadas endopartículas (27,34,35). Las endopartículas son paquetes de -
proteínoides nacidos dentro de algunas microesferas y separadas por una gruesa
interfase nítida, lo cual las hace aparecer a veces como pequeñas vacuolas ag
féricas. La formación de esas partículas se explica por el flujo del agua a -
través de la microesfera en cuyo interior se disuelven diferencialmente algu
nos proteínoides que se rodean de otros materiales persistentes que conforman -
su interfase (27). El número de las endopartículas en cada microesfera puede -
variar dándose casos de microesferas totalmente saturadas por ellas (fig. 18)
(24,34,35).

Con frecuencia las endopartículas pueden salir al exterior de las mi
croesferas a través de los orificios que dejan como "cicatriz" algunas conexio
nes (collares) al romperse. Las endopartículas se mueven por efecto del movi
miento browniano (26,34,35). Se ha demostrado que esas partículas pequeñísimas
pueden crecer por acreción cuando son incubadas en una solución proteínoides, -
dando como resultado microesferas semejantes a las anteriores (34,35). En oca
siones las partículas pueden salir unidas en parejas o en triadas y producen -
los mismos resultados en soluciones de proteínoides (34,35). Por lo tanto, es
tos paquetes de proteínoides funcionan como núcleos de condensación que acumu
lan sucesivamente nuevos proteínoides alrededor suyo hasta que alcanzan el ta
maño de las microesferas de las que se originaron (*). Durante este proceso -
hay una gradual disipación de los límites o interfases de las endopartículas o
riginales.

Estos hechos han sido interpretados por Fox y sus colaboradores co
mo la base física de las primeras formas de comunicación, recombinación y repro

(34) L.L. Hsu (1972), en: D.L. Rohlfing y A.I. Oparin, eds. (1972), op. y ed. cit.
(16), pp. 371-378.

(35) L.L. Hsu y S.W. Fox (1976), BioSystems, 8, 89-101. Véase también: S.W. Fox,
L.L. Hsu y S. Brooks (1971), en: E. Broda, A. Locker, y H. Springer, eds.
(1971), First European Biophysics Congress, Proceedings, vol. IV, pp. 533-537.

(*) Por esta razón también se les ha llamado a estos, núcleos de acreción.



Fig. No. 18.- Microesferas unidas por collares en las que se muestra una endopartícula (e). Microfotografía obtenida con microscopio de contraste de fase. (35).

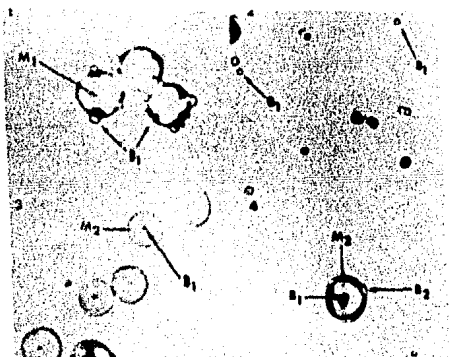


Fig. No. 19.- Secuencia que muestra a varias microesferas produciendo "yemas", las cuales se originan espontáneamente manteniendo el líquido materno en reposo una o dos semanas. Ocasionalmente se pueden parar las "yemas" y aumentar su tamaño por acreción como se muestra en los cuadros 2 y 3. (B₁) muestra la huella de la partícula original. (M₂) muestra el material incorporado por acreción que constituye una nueva microesfera. (B₂) muestra en el cuadro 4 - el reinicio del ciclo. (24).

ducción.

Sin embargo, la primera forma de proliferación observada en las microesferas fue una especie de gemación que se presenta en estas partículas espontáneamente dejando éstas 1 ó 2 semanas en su líquido materno (36). El tamaño y forma de los "brotes" o "yemas" de las microesferas tiende a ser constante, generalmente miden menos de 1 μ m de diámetro y por lo regular son esféricas - (fig. 18), además pueden ser separadas de la partícula madre por acción mecánica (vibración), calentamiento suave o por choque eléctrico moderado (23,36). Los "brotes" separados de ese modo pueden incubarse y crecer en la misma forma que las endopartículas de las cuales se distinguen únicamente por su origen (fig 19).

La descripción hecha hasta aquí corresponde fundamentalmente a las microesferas ácidas, o sea, aquéllas formadas de proteínoides ricos en ácidos aspártico y/o glutámico, respecto a los demás aminoácidos (18), generalmente en la proporción 2:2:1 (supra, IV, 3,2a). En los últimos años, Fox y sus colaboradores han podido demostrar que la complejidad y la morfología de las microesferas puede ampliarse cuando están constituidas por más de un tipo de proteínoides; de igual modo se puede aumentar su estabilidad frente a las condiciones ambientales, como el pH. Las microesferas de proteínoides ácidos son estables a un pH= 6 por encima del cual son disueltas, en cambio, las microesferas integradas de proteínoides ácidos y básicos (neutros), son muy estables a un pH de 8.5 (37), y las formadas por materiales ricos en lisina (alcalinos), son perfectamente estables hasta alcalinidades de pH₁₂ (31). Las microesferas neutras se pueden obtener fácilmente con proteínoides sintetizados en presencia -

(36) S.W. Fox, R.J. McCaulay y A. Wood (1967), Comp. Biochem. Physiol., 20, 773-778. Reproducido en: C. Price, ed. (1974), Synthesis of Life, ed. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, pp. 221-228.

(37) W.D. Synder y S.W. Fox (1975), BioSystems, 7, 222-229.

de sales de tipo marino (supra, IV, 3.2a) (37).

Cuando se preparan microesferas mixtas (o neutras), en presencia de cloruro de calcio (Ca Cl_2) (*), se obtienen estructuras con numerosas y pequeñas vacuolas cercanas a la superficie (38), y una serie de compartimientos en los que también aparecen, a menudo, endoparticulas (39), algunas de las cuales parecen presentar también compartimentación (39). Dichas endoparticulas pueden ser transferidas entre los compartimientos de manera similar a como se ha descrito para las microesferas (39). El número y el tamaño de los compartimientos es muy variable (39), al igual que la cantidad de endoparticulas que puede haber en las cámaras de dichos compartimientos.

También se obtienen microesferas morfológicamente complejas en presencia de algunos fosfolípidos (por absorción como la α -lecitina) (24).

Por otra parte, son de gran interés las microesferas mixtas formadas por proteínoides básicos (histonoides), ricas en lisina o en arginina, y por polinucleótidos sintéticos o ácidos nucleicos naturales (23,40,41), ya que intentan reproducir el origen de la interacción entre proteínas y ácidos nucleicos.

Muchas otras propiedades de las microesferas derivan de las mismas cualidades de los proteínoides, principalmente las químicas, tales como aquellas de tipo enzimático (v. supra VI, 3.2a). Se ha reportado, por ejemplo, que la activación de la glicina por el ATP se logra óptimamente en presencia de microesferas (y algunos cationes divalentes como el berilio y el zinc) (42), y ATP. También se ha demostrado la acción catalítica de las microesferas compuestas de proteínoides ácidos y alcalinos (43). Del mismo modo, las microesferas consti-

(*) Los mejores resultados se obtienen con una solución de Ca Cl_2 0.1 M.

(38) J. Miquel y S.W. Fox (1971), Curr. Mod. Biol., 3, 299-306.

(39) S.T. Brooke y S.W. Fox (1977), BioSystems, 9, 1-22.

(41) S.W. Fox, J.C. Lacey y T. Nakashima (1971), en: D.W. Ribbons, J.F. Woessner y J. Schultz, eds. (1971), Nucleic Acid-Protein Interactions and Nucleic Acid Synthesis in Viral Infection, ed. North-Holland, Amsterdam, pp. 113-127.

(40) T.V. Wachneldt y S.W. Fox (1968), Biochim. Biophys. Acta. 160, 239-245.

(42) J. Ryan y S.W. Fox (1973), BioSystems, 5, 115-118.

(43) S.W. Fox, J.R. Jungck y T. Nakashima (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (8), pp. 226-237.

tuidas por proteinoides con franco predominio de lisina (37%), y poli-A (poliadenina), sintetizada enzimáticamente, pueden dimerizar y trimerizar la fenilalanina en presencia de iones como K^+ y Mg^{++} , y de ATP (43). Todos estos procesos se realizan eficazmente sólo en presencia de las microsferas, cuando se emplean únicamente proteinoides las reacciones apenas y se llevan a cabo (42,43); sin embargo, se desconoce aún el porqué de esto y si la acción catalítica de las micropartículas se realiza en su superficie o en su interior (42). De cualquier modo Fox y sus asociados señalan que estos hechos respaldan sólidamente la plausibilidad de las microsferas proteinoides como las precursoras directas de las protocélulas (24, 25, 27, 32, 44,49). Otros hechos que pueden añadirse en pro de esta hipótesis, según Fox, son: las grandes semejanzas que presentan muchas microsferas con los elementos organizados encontrados en algunas condritas carbonosas (infra V, 4), y ciertos microfósiles precambrianos (fig. 20) (32). También Fox ha recalcado las grandes similitudes que guardan sus modelos precelulares con las células bacterianas (24,25) (fig. 21).

2.3. OTROS MODELOS DE POSIBLES PROTOCELULAS

Ya antes se hizo referencia a los sulfobios de Alfonso L. Herrera (supra, II, 8.1) (fig. 22), los cuales fueron interpretados por su autor con un criterio puramente morfológico y fenomenológico. No obstante, algunos sulfobios como los constituidos por formol y tiocianato de amonio (fig. 77), han merecido la atención de los estudiosos de la evolución química (24,48,51) (supra, II, - 1.8), por ser el primer intento para obtener formas de tipo protocelular a par

(44) S.W. Fox (1971), Chem. Eng. News, 49, (23), 46-53.

(45) S.W. Fox (1973), Naturwissenschaften, 60, 359-368.

(46) S.W. Fox (1975), Int. J. Quantum Chem. Quant. Biol. Symp. No. 2, 307-320.

(47) S.W. Fox (1975), BioSystems, 6, 165-175.

(48) S.W. Fox (1976), Origins of Life, 7, 49-68.

(49) D.L. Rohlfsing (1977), Comunicación personal.

(50) D.H. Kenyon y G. Steinman (1969), Biochemical Predestination, ed. Mc. Graw Hill, Nueva York, pp. 224-258.

(51) D.L. Rohlfsing (1974), en: K.Dose, S.W. Fox, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (20) pp. 397-415.

Fig. No. 20.- Fotomicrografías -- que muestran, comparativamente, a la izquierda, microesferas -- proteínicas de Fox, y a la derecha, microfósiles encontrados por Barghoorn et al., (24).

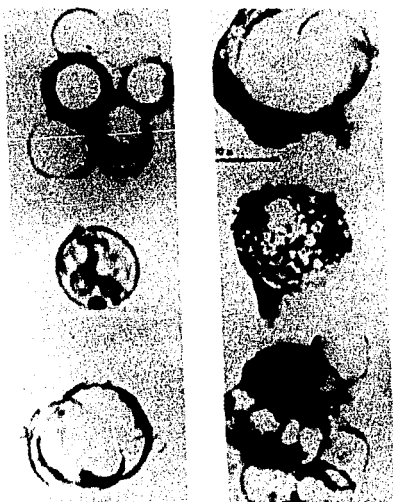


Fig. No. 21.- Fotomicrografías electrónicas de la bacteria Bacillus cereus (arriba), comparada con una microesfera proteínica de Fox (abajo). Ambas fijadas con tetraóxido de osmio. (25).

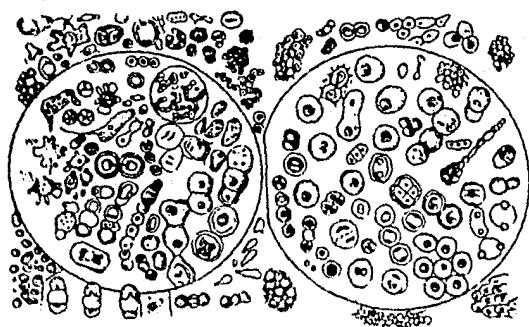


Fig. No. 22.- Sulfobios-dibujados por Alfonso L. Herrera, quien los preparó con tiocianato de amonio y aldehído fórmico. (10).

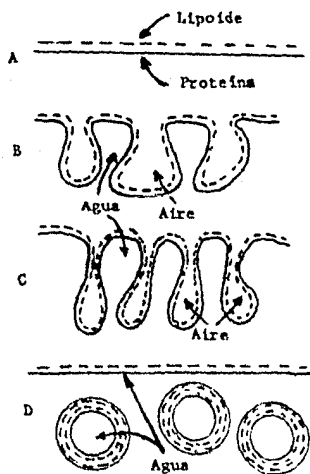


Fig. No. 23.- Mecanismo propuesto por -- Goldacre para la formación de microvesículas lipoproteicas en películas adsorbidas en la interfase agua-aire. (A) representa la película en reposo, (B) plegamiento por acción del viento o turbulencias, (C) aspecto de los -- pliegues después de la difusión del -- aire, (D) microvesículas formadas por unión de las "membranas" adyacentes. (53).

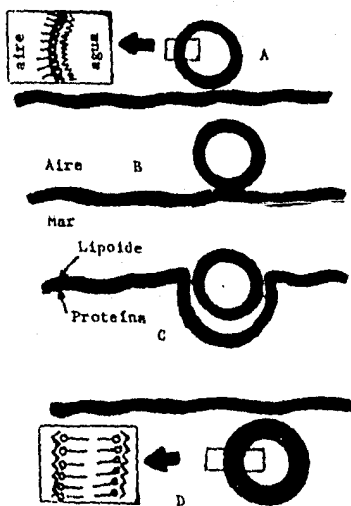


Fig. No. 24.- Formación de membranas lipoproteicas alrededor de aerosoles según el mecanismo propuesto por Shah. (A) y (B) aerosoles formados por diversos mecanismos presentando una membrana monomolecular, (C) caída del aerosol -- por gravedad al seno de un líquido semejante al materno, (D) aerosol resultante con una membrana bimolecular. (53).

tir de sustancias orgánicas simples (50). Algunos investigadores actuales han repetido varios de los experimentos de Herrera (49,50).

Entre los modelos propuestos hay que mencionar a los Jeewanu, que significa en sánscrito "partículas de vida", producidas por Bahadur (52), a partir de diversos materiales orgánicos y/o inorgánicos entre los que se destacan el paraformaldehído y el nitrato de potasio o de paraformaldehído, el ácido molibdico y cloruro férrico expuestos a la luz solar de 300 a 600 horas. Estas partículas miden en promedio de 0.28 a 0.5 μ m, y tienen forma esférica generalmente; según su composición muestran características de coacervados, microesferas y otros modelos que recuerdan, a veces, a los sulfoflocos; en consecuencia, no pueden tomarse como modelos alternativos (24,50).

De gran interés son, sin duda, las microvesículas lipídicas o lipoproteicas, propuestas originalmente por Goldacre (fig.23), y ahora encarnadas en la teoría de los aerosoles lipoproteicos de Shah (53) (fig. 24). Estos autores pretenden explicar así el origen de las membranas biológicas. Estas microvesículas contendrían en su interior diversos materiales de tipo orgánico que tal vez en algunos casos desarrollaron reacciones que podrían concebirse como "metabólicas" o premetabólicas. Se trata, por consiguiente, de verdaderas formas microscópicas alternativas a los coacervados y a las microesferas, tanto por su origen como por sus características físicoquímicas. Sin embargo, fuera de la respuesta que reportan estas microvesículas en relación al origen de las membranas no presentan otros indicios experimentales que las apoyen ventajosamente como presuntas protocélulas pues tendrían entre otros el problema de tener un medio interno muy diluido, semejante al medio externo.

(52) K. Bahadur (1966), Ram Narain Lal Beni Prasad Allahabad, India. Citado por S.W. Fox y K. Dose (24), D.H. Kenyon y G. Stalman (20), y otros.

(53) D. Shah (1972), en: C. Ponnamperuma, ed. (1972), Exobiology, ed. North-Holland, Amsterdam, pp. 235-265.

Otro esfuerzo por encontrar una opción plausible a los microsistemas plurimoleculares de Oparin y Fox ha sido el de Kenyon y sus colaboradores en los últimos años (54), quienes han producido microesferas constituidas de melanoidina y aldocianoína (55) (v. supra, IV, 3.2c). Las microesferas formadas de melanoidina (que se sintetiza a partir de un azúcar y un aminoácido en solución calentados a 90 a 110°C), miden regularmente 8 a 3 μ m, y las constituidas de aldocianoína (sintetizada a partir de NaCl, NH_4Cl , CH_2O y NH_4SCN en solución acuosa), alcanzan en promedio 2 μ m. Muchas de las características de estas microesferas de melanoidina y aldocianoína recuerdan a las homónimas de Fox (formación de "yemas", coyunturas en forma de collar, cúmulos, estabilidad, etc.) (55). A pesar de que Kenyon y Nissenbaum manifiestan que no puede descartarse como hipótesis plausible la existencia de precursores de protocélulas formados a partir de polímeros heterogéneos como la aldocianoína y la melanoidina (y no homogéneos como sería el caso de las microesferas de Fox), precisamente en composición química es la que resta plausibilidad a la hipótesis respecto a la protobiogénesis.

Por lo que toca a las llamadas microesférulas obtenidas en los experimentos de Grossenbacher y Knight, Labadie, et al. y otros (56,57), no se trata de verdaderos microsistemas como los tratados hasta aquí, sino de material polimérico sólido (v. supra, IV, 3.2 b).

2.4. EVALUACION CRITICA DE LOS MODELOS PROTOCELULARES.

A pesar de que se han propuesto varios tipos de modelos protocelulares, los que siguen llamando más la atención de los investigadores son los con-

(54) D.H. Kenyon (1977), Comunicación Personal.

(55) D.H. Kenyon y A. Nissenbaum (1976), J. Mol. Evol., 7, 245-251.

(56) K.A. Grossenbacher y C. Knight (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (13), pp. 173-183.

(57) M. Labadie, R. Jensen y E. Neuzil (1967), Bull. Soc. Chim. Biol. 49, 673-682.

cervados y las microesferas proteínoideas, principalmente porque han recibido el mayor respaldo experimental y suman más cualidades que defectos, respecto a los demás modelos, para ser escogidos como candidatos más viables. Desde luego, - hace falta mucho más trabajo experimental para decidir entre estos modelos de microsistemas polimoleculares, aunque cabe la posibilidad de que los dos agrados moleculares se hayan producido en el ambiente prebiótico de la Tierra.

La principal objeción que se ha manifestado a los coacervados de Oparin se refiere a su poca estabilidad (v. también supra, V. 2.1), pues tienen - una débil película protectora por lo que coalescan con facilidad o son destruidos al contacto con la interfase aire-agua o con una ligera presión contra la superficie de un cubreobjetos; por ende no resisten la centrifugación. Sin em bargo, se sabe (supra, V, 2.2) que la estabilidad de los coacervados aumenta con considerablemente cuando intervienen en su composición diversas quinonas junto con otras sustancias complejas (proteínas, ácidos nucleicos, etc); además, en presencia de materiales lipoides como algunos fosfolípidos, éstos se adhieren a la superficie de los coacervados aumentando el grosor de su película limitante (10, 53).

Por otra parte, Oparin ha insistido que la relativa inestabilidad de los coacervados es más una cualidad que un defecto en el contexto de la evolución química, porque sistemas tan persistentes como las microesferas de Fox podrían conducir a un callejón sin salida; así, por ejemplo, la coalescencia de - dos microsistemas podría enriquecer las cualidades del coacervado resultante, - asimismo, los coacervados que fueran destruidos suministrarían substratos mejorados a partir de los cuales se formarían nuevas gotitas dotadas de propiedades - fisicoquímicas más adecuadas para responder a las condiciones del ambiente (9,10,--

12,57,58): A través de estas incansables transformaciones, destrucciones y reconstituciones, se pudo llegar a la aparición de las primeras células (protocélulas) (9,10,12), de acuerdo a las demandas del ambiente. Este perfeccionamiento gradual, según Oparin, se daría gracias a una verdadera selección natural prebiológica, cuestión que será menester revisar más adelante (infra, V,3).

Por lo que atañe a las microsferas proteínoides, Fox y sus colaboradoras plantean que la posibilidad de éstas bajo condiciones geoquímicas y bajo diversas atmósferas simuladas (60),-algunas consideradas como reinantes de la Tierra primitiva-, así como sus semejanzas morfológicas y fisicoquímicas con las células y su gran estabilidad, son suficientes para considerarlas como las más probables precursoras inmediatas de las protocélulas o protobiontes. Aunque diversos autores comparten esta opinión (61,62), hay muchos otros que la atacan seriamente. Pese a que no se puede descartar la posibilidad de la formación de microsferas proteínoides en el ambiente primitivo de nuestro planeta, existen muchas cuestiones que colocan a esos modelos en situación desventajosa. En primer lugar se ha señalado en numerosas ocasiones que las condiciones para producirlas son muy específicas (zonas cercanas a volcanes activos), y sería aún más difícil su supervivencia que para el caso de los proteínoides térmicos (supra, IV, 3.2a). Este obstáculo quizá podría salvarse si la mayoría de las microsferas se formaran como el método de Young ha sugerido (26), pero éstas sólo representan a un tipo de microsferas, estables únicamente a pH ácido que estaría circunscrito a depósitos de agua cercanos a las zonas volcánicas (ricos en sulfuro de hidrógeno).

(58) A.I. Oparin (1974), en: J.Oró, S.L. Miller, et al. (1974), op. y ed. cit. (8), pp. 223-226.

(59) A.I. Oparin (1971), en: R. Ruwet y C. Ponnamparuma, eds. (1971), op. y ed. cit. (15), pp. 3-9

(60) W.W. McAlhane y D.L. Rohlfsing (1976), BioSystems, 8, 45-50.

(61) A. Lehninger (1975), Biochemistry, Ed. Worth, Nueva York, pp. 1031-1056.

(62) M. Florkin (1975), en: M. Florkin y E.H. Stotz, eds. (1975), Comprehensive Biochemistry, Ed. Elsevier, Nueva York, vol. '29 (b) pp. 231-260.

Por otro lado, la cuestión más criticable es en relación a las interpretaciones que el grupo encabezado por Fox ha hecho de sus experimentos. Silvester-Bradley, en un análisis crítico del libro de Fox y Dose (24), asienta que estos autores llevados por su entusiasmo llegan a interpretaciones exageradas que "están en peligro de crear la falsa impresión de que sus protocélulas son ya casi 'vivas' " (63). Realmente las interpretaciones de Fox y sus colaboradores son demasiado fenomenológicas, están basadas en un criterio puramente morfológico o superficial. No se puede juzgar estos hechos con el criterio de una "caja negra" (tales estímulos, tales respuestas), porque corremos el grave peligro de crear cosas que no son. Si es cierto que las microesferas, por su naturaleza proteínica, presentan propiedades catalíticas en algunos casos, es demasiado apresurado afirmar que esto refleja semejanzas importantes con los procesos en una célula, pues ni siquiera se sabe si las reacciones suceden afuera o adentro de la partícula ni se sabe cómo se llevan a cabo; por otra parte, habría que ver si ese tipo de reacciones catalíticas podrían ser verdaderos eslabones de la cadena evolutiva química que condujo a las protocélulas, primero, y a las células primitivas, después (v. infra; V, 3.3.), ya que muchas de esas reacciones se insertarían en vías metabólicas que muestran un grado de desarrollo evolutivo muy avanzado y, por ende, no pueden señalarse como primitivos (v. supra, IV, 3.2 a y V 2.2).

En cuanto a la formación de "yemas" o "brotos" y su crecimiento ulterior hay que hacer hincapié en que se trata de un crecimiento como el de los cristales y no como el de las células (producto del metabolismo). Lo mismo puede decirse de las endopartículas (v. supra, V, 2.2).

De igual modo, la membrana que se presenta en las microesferas es

(63) P.C. Silvester-Bradley (1973), Nature, 242, 540-541.

mucho más gruesa que la presente en las células; asimismo, difiere de la membrana celular pues, como se sabe, ésta es de naturaleza lipoproteica, posiblemente con una organización compleja, tal como la sugiere el modelo de mosaico fluido (*), y aquélla resulta de un arreglo particular de las cadenas laterales hidrofóbicas de los residuos de aminoácidos de los proteínoides térmicos; aunque cabe señalar que esto último no tiene tanta importancia porque es muy probable que la membrana celular típica haya aparecido en un período posterior de la evolución protocelular (*infra*, V, 3.2).

Por las razones anteriores, resultan inaceptables en un sentido estricto, científico, comparaciones como las que aparecen en la figura 21, entre una célula bacteriana de Bacillus cereus y una microesfera, hecha por Fox para respaldar la plausibilidad de éstas como protocélulas; comparación que recuerda a aquéllas, nada afortunadas, que hacían los promotores de la "Biología Sintética" a principios del siglo (*supra*, II, 8.1), las cuales fueron motivo de cáusticas críticas por parte de Oparin (*supra*, II, 8.1.).

Ahora bien, esto no quiere decir que desechemos las microesferas como probables modelos protocelulares, todavía estamos lejos de poder decidir respecto a cuál es el mejor modelo de protocélula. La investigación futura será la única que pueda resolver esta cuestión.

3.- DE LA MATERIA INERTE A LA MATERIA VIVA.

El enorme abismo que separa actualmente a los seres vivos de los seres inertes o inorgánicos ha sido un constante argumento de los vitalistas para justificar sus teorías acerca de la vida. Si no dispusiéramos de un enfoque histórico para explicar el origen de ese abismo, seguramente nos veríamos imposibilitados de refutar los sofismas vitalistas, que es, precisamente, lo que les ha pasado a los mecanicistas. Gracias sobre todo al trabajo de Darwin, y en -

(*) Véase: S.J. Singer y G.L. Nicolson (1972) Science, 175, 720-731; R.D. Dyson, (1974), Cell Biology, ed. Allyn and Bacon, Boston, pp. 285-296.

particular al trabajo de Oparin, hoy disponemos del arma teórica para resolver ese problema por vía de la experimentación científica y para destruir las concepciones obscurantistas del vitalismo contemporáneo en todas sus formas. ¿Cómo se dio el tránsito de la materia inerte a la materia viva? Oparin ha planteado que como resultado de la evolución prebiológica o química se formaron sistemas que pueden ser considerados como el eslabón entre los sistemas inertes y los sistemas vivos propiamente dichos (eubiontes), a los cuales ha llamado protobiontes (que en griego significa: seres vivos primitivos o primarios) (5), y que Pirie ha llamado obiontes (64) (del griego éōs, aurora o amanecer). Esos protobiontes quizá eran muy semejantes, estructuralmente hablando, a los concervados, según Oparin, o a cualquier otro modelo proteocalular plausible.

Obviamente, entramos ya de lleno al terreno de la especulación pues aquí carecemos de conocimientos para poder elaborar una tesis definitiva acerca del origen de tales sistemas. Pero la especulación al respecto está basada en los conocimientos científicos disponibles en la actualidad;as, por tanto, una - especulación científica y no hay que olvidar que todo descubrimiento científico está precedido de una especulación, a pesar de que, como en este caso especialmente, conlleve un compromiso ideológico (v. supra III, I).

3.1. EL PROBLEMA DE UNA DEFINICION.

¿Cómo podría distinguirse un protobionte de un sistema inerte? La respuesta a esta cuestión entraña la ineludible necesidad de una definición satisfactoria del término "vida". Desde luego, esto tiene que ver con el concepto de vida como categoría biológica fundamental (supra, III, I). Sólo estableciendo una definición podremos saber de qué estamos hablando cuando nos referimos al origen de los sistemas vivos; así, contaremos con un criterio lógico que nos permita explicar o entender el tránsito de la materia inerte a la materia -

(64) H.W. Pirie (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pasynski, et al, eds. (1959), op. y ed. cit. (II), pp. 76-83.

viva, el salto dialectico o cualitativo que marcó el verdadero umbral de la vida (*).

Aunque resulte problemática y algunos piensen que es ociosa cualquier definición de la vida, es imprescindible hacerla. Ahora bien, esto no quiere decir que deba definirse de manera completa toda la vida sino referirse, a través de ella, al común denominador de todas las formas de vida, preéritas y presentes y, asimismo, examinar cuáles serían los mínimos requerimientos para considerar a un sistema como vivo.

Dado que cualquier definición en este contexto conlleva inevitablemente cierto substrato ideológico o filosófico (supra, I), no es extraño que haya substanciales discrepancias en las concepciones manifiestas por diversos autores en torno a lo que debe entenderse por los primeros seres vivos o protobiontes. Esto obliga a un análisis crítico de ciertas definiciones relevantes.

Según una corriente de opinión la forma más elemental de vida sería una molécula capaz de autoduplicarse, de sufrir mutaciones al azar y de heterocatalisis (65). Huelga decir que tal molécula sería un ácido nucleico, especialmente el ADN el cual se habría formado fortuitamente. Así pues, para científicos como Horowitz, las tres características enunciadas arriba son suficientes para definir la vida (65), es más, la célula sólo sería, a juicio del aludido autor, el medio en el cual "vive" el gene, la molécula de ADN. Un punto

(*) Esto también tendrá que ver con la detección de posibles formas de vida extraterrestres a las cuales han dado el calificativo de xenobiontes (del griego ξένος = extranjero), o el de exobiontes (del griego, εξω, fuera); sin embargo, el término xenobionte lo reservan algunos científicos para referirse a posibles formas de vida con "bioquímicas" basadas en un elemento distinto al carbono (infra).

(65) N.H. Horowitz (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Pasyanski, et al., eds. (1959), op. y ed. cit. (11), pp. 106-107.

de vista semejante al anterior es mantenido por Orgel (66); según él, los requerimientos necesarios y suficientes para calificar a una estructura como "viva" tendrían que ser: objetos complejos pero bien especificados y capaces de reproducirse, lo cual implicaría que tales objetos sean el resultado de la selección natural y que la información necesaria para especificar el objeto esté almacenada en una estructura que sea estable durante toda su vida para garantizar su reproducción (66). Estas cualidades serían igualmente aplicables a las primeras formas de vida o a organismos extraterrestres (66). Asimismo, Orgel estima que debe substituirse el confuso término de "vivo" para referirse a estos sistemas, por el de Citroens (de las iniciales en inglés de: Complex information-Transforming Reproducing Objects that Evolve by Natural Selection, o sea, objetos complejos transformadores de información capaces de reproducirse y que evolucionan por selección natural) (66). De acuerdo con el razonamiento anterior, moléculas semejantes al ADN que fueran capaces de replicarse sobre la superficie de algunos minerales catalíticos, también serían ejemplos de citroens. De acuerdo con esto, pueden considerarse como formas de vida sistemas de naturaleza totalmente distinta a la de los ácidos nucleicos; por consiguiente, cabría la posibilidad de hallar estas propiedades hasta en diversos cristales de sustancias inorgánicas, como ha sugerido Cairns-Smith en su teoría del origen del código genético (67) (*). Esta opinión es mantenida por diver

(66) L.E. Orgel (1973), The Origins of Life: Molecules and Natural Selection, Ed. John Wiley, Nueva York. Véase también: S.L. Miller y L.E. Orgel (1974), - The Origins of Life on the Earth, Ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, pp. 162-65.

(67) A.G. Cairns-Smith (1971), The Life Puzzle, Ed. University of Toronto Press, Glasgow.

(*) Es necesario aclarar que Cairns-Smith sólo plantea que los silicatos cristalinos pudieron servir como matrices o como primitivos genes que luego fueron substituidos por los ácidos nucleicos, lo cual no quiere decir que este autor acepte la teoría del "gene desnudo", la "molécula viviente" o "el organismo monomolecular" (v. infra, V, 3.3).

tos científicos, como Miller (66), Crick (v. infra, V,3.3), Haldane (68), Hardin (69), Woltereck (70), y otros, y en ocasiones ha sido aceptada hasta por algunos biólogos evolucionistas tales como Huxley (71), Maynard-Smith (72) y Simpson (73).

Como se sabe (supra, II,8), estas tesis tienen su antecedente en el llamado micromerismo, que tuvo su expresión cabal en la teoría del "gene desnudo", originalmente propuesta por Morgan y especialmente desarrollada por su discípulo, Müller, quien desde los años veinte escribió sobre el "gene desnudo" o "protegene" como el origen mismo de la vida y atacó a quienes sostenían la idea del "organismo como un todo" y que de algún modo negaban, explícita o implícitamente, la existencia de un materia genético especial (74) (*). En uno de sus últimos trabajos afirmaba este genetista que el origen de la vida fue el gene, el cual se originó primero y más tarde, en forma gradual, el protoplasma; por lo tanto, "el protoplasma consistiría de sustancias accesorias producidas por y para los genes. Su existencia se habría debido al hecho de que aquellos genes habían sido seleccionados naturalmente, cuyos productos proporcionaron -

(68) J.B.S. Haldane (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (13), pp. 11-15.

(69) G. Hardin (1969), Biología. Sus principios e Implicaciones, Ed. Herrero, México, pp. 208-209.

(70) H. Woltereck (1967), La Vida Inverosímil, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 40-42.

(71) J. Huxley (1963), Evolution. The Modern Synthesis, Ed. George Allen and Unwin, Londres pp. xxvi.

(72) J. Maynard-Smith (1972), Teoría de la Evolución, Ed. Istmo, Madrid, pp. 109-111.

(73) G.G. Simpson (1967), The Meaning of Evolution, Ed. Yale University Press, New Haven, p. 17.

(74) H.J. Müller (1973), The Modern Concept of Nature. Essays of Theoretical Biology (ed. por E.A. Carlson), Ed. State University of New York Press, Nueva York, pp. 118-175. Publ. originalmente en: (1974), Proc. Roy. Soc. B, 134, 1-37.

(*) El subrayado es mío.

por casualidad herramientas químicas, tales como las enzimas, que son útiles para la supervivencia y la multiplicación de los mismos genes" (75). Acorde con estas ideas, Müller insistía en que "la esencia de la vida no reside en el protoplasma o sus operaciones, colectivamente llamadas metabolismo, como se ha afirmado frecuentemente" sino en el gene, por lo que "no es sorprendente que, en un pasado remoto el gene mismo hubiera podido originarse" (75), gracias a encuentros accidentales entre sustancias junto con la absorción de radiación energética continua durante muchos millones de años (75).

Cuando se descubrió el papel de los ácidos nucleicos en los procesos de la herencia, las ideas del "gene desnudo" o "protogene" se transformaron en las de la "molécula gene" o "molécula viviente" ("moleculobionte"). Sin embargo, la idea de la "molécula viviente" ya existía a principios de siglo, pero entonces se refería a las proteínas (enzimas); uno de los principales promotores de esa teoría fue Troland (76). Ciertamente, el contenido de estas ideas no varía con el cambio de una sustancia por otra.

¿Será válido suponer que el origen de la vida fue un gene desnudo o un moleculobionte constituido por cierto tipo de ácido nucleico que apareció por azar y que era capaz de replicarse y mutar? ¿Es lícito otorgarle todas las propiedades fundamentales de un sistema viviente a una sola sustancia, a una sola macromolécula? ¿Es posible la existencia de organismos monomoleculares como suponen estos científicos?

Es de temerse que debajo del ropaje científico de estas suposiciones existe un subtrato ideológico (supra, I, II, y III). Durante las últimas décadas el ADN (o los ácidos nucleicos), lo mismo que el gene en el pasado, ha sido el "héroe mítico" de gran número de biólogos moleculares y de otras especia-

(75) Ibid., pp. 230-253, publ. original en: (1955), Science, 121, 1-9.

(76) Citado por: J. Keosian (1975), El Origen de la Vida, Ed. Alhambra, Madrid pp. 83-99.

lidades; se quiere ver en él condensadas todas las cualidades esenciales de la vida y hasta todas las propiedades y potencialidades de la misma. Estas especulaciones resultan tan mitológicas como las antiguas leyendas de diversos pueblos y civilizaciones en las que un sólo individuo (el héroe mítico), es poseedor de toda la fuerza y toda la sapiencia de una sociedad determinada en el espacio y en el tiempo; ese héroe guía al pueblo, lo cultiva, lo civiliza y lo salva en los momentos difíciles. En estas historias el pueblo, la sociedad misma, son simples comparsas, el héroe es el único importante, él encarna a la sociedad y a la historia mismas. Basta recordar las leyendas de Rómulo y Remo, Quetzalcoatl, Prometeo, etc., para darse cuenta de que exista cierto paralelismo entre la mitología histórica y la que muy bien podría llamarse mitología biológica. Es muy probable que en un futuro no lejano los biólogos se admiren y hasta se mofen de los excesos interpretativos de aquéllos que han sostenido la tesis del "gene desnudo", de la "molécula viviente" (moleculobionte), o del "organismo monomolecular" que propone Nývák (77) (*).

¿Cuál es el origen de esas exageraciones? Nuevamente nos topamos aquí con el impacto de la sociedad sobre la ciencia a través de la ideología dominante. ¿Qué es más estimado por nuestra sociedad capitalista que el hombre de empresa, el dirigente que controla y regula la producción de bienes materiales y que aparece como el verdadero creador de la riqueza social?

¿No se estará reflejando esta situación al privilegiar desmedidamente al ADN y menospreciar a los demás componentes celulares, por el papel que juega aquél en los mecanismos de regulación, control, etc. de los procesos vitales en las

(77) V.J.A.Nývák (1974), en: K.Dose, S.W. Fox et al. eds. (1974), op. y ed.cit. (21), pp. 355-368.

(*) Recuerdase que los neopositivistas de la "escuela de Copenhague", como Pascual Jordan, hablan de "moléculas vivientes", lo cual no parece ser una simple coincidencia (v. SUPRA III, 3 y 4). Véase por ejemplo: P. Jordan (1959), La Physique et le Secret de la Vie Organique, Ed. Albin Michel, París, pp. 71-100.

células?. No se trata, pues, de una simple coincidencia, son hechos innegables, a no ser que todavía se piense que los hombres de ciencia son seres dotados de cualidades extraordinarias que les permiten mantenerse al margen de la sociedad que les ha tocado vivir y en la cual se han formado (v. supra I). Ya Engels se habla con toda claridad este hecho (v. supra I, 1.1.), hace un siglo; pero no sólo los marxistas han reconocido la influencia que la sociedad ejerce sobre el pensamiento científico sino también hombres como Philipp Frank, físico y filósofo neopositivista, quien deja asentado "... los científicos son también seres humanos y se encuentran, por lo tanto, inclinados definitivamente hacia algún credo moral, religioso y político. Quienes niegan enfáticamente la conexión entre las teorías científicas y los credos religiosos y políticos, son precisamente quienes creen en estas doctrinas conforme a la adoctrinación que les han impartido organizaciones tales como las iglesias o los partidos políticos" (78).

Por otra parte, las tesis que privilegian al gene o al ADN como asiento y origen de la vida reflejan el atavismo mecanicista de las épocas más remotas, vinculado con la magia y el mito, que intentaba reducir todos los fenómenos y todas las causas a un sólo principio material o a unos cuantos (agua, fuego, aire, tierra, etc), mismas que en el contexto histórico actual parecen más bien consignas vitalistas que mecanicistas pues, como señala Keosian, "realmente, a la molécula viviente o al gene se les ha hecho responsables de todos los poderes místicos de la "fuerza vital" de los vitalistas" (76). A la vez, estas disquisiciones de los mecanicistas contemporáneos denotan las características del reduccionismo de la tradición positivista que pesa como una gigantesca lápida sobre la ciencia occidental (v. supra, I, II y III).

Siempre ayunas de toda apreciación histórica, las ideas de los mecanicistas respecto al origen de la vida no vacilan en extrapolar las caracterís

(78) P. Frank (1957), Las Razones para Aceptar las Teorías Científicas, Supl. del Sum. Probl. Cientif. y Fil., No. 1., UNAH.

ticas organizativas de los seres vivos actuales hasta el pasado más remoto, pasando por alto el proceso evolutivo que es consubstancial a ellos. No es posible concebir la vida fragmentariamente o como una simple propiedad aditiva de ciertas moléculas, de la misma forma como no es posible considerar a la sociedad humana como una cualidad de determinados individuos o como la simple suma de Homo sapiens individuales. Esta cuestión nos coloca frente al problema de la totalidad en el pensamiento biológico. No debemos confundir el todo con sus partes y menos aún cuando ese todo es el resultado de un larguísimo proceso evolutivo, que es precisamente el que se trata de desentrañar (*). Al olvidar esto, pone a los mecanicistas ante una problemática tan formidable que no les deja otro recurso que la invocación del azar para "explicar" el origen de las primeras formas de vida. Es por esta razón que coincide con la opinión de Kahane cuando nos dice que, "... es vano, en principio, buscar el modelo de las formas elementales de vida en las sustancias altamente diferenciadas y en los órganos altamente especializados tales como los observamos hoy en día, o sea, en las formas vivas resultantes de varios miles de millones de años de evolución" (79), y ciertamente, como señala el referido autor en otro párrafo, haciendo una pu

(*) Un tratamiento muy completo sobre este tema se encuentra en: R. Rochhausen (1960), Suplementos del Sem. Probl. Cientif. Fil., Serie II No. 27, pp. 147-181; N. Rashevsky (1971), Suplementos del Sem. Probl. Cientif. Fil., Serie III No. 12, pp. 1-19; W.A. Engelhardt (1971), en: E. Broda, A. Locker y H. Springer-Lederer, eds. (1971), First European Biophysics Congress, Ed. Verlag der Wiener Medizinischen Akademie, Viena, vol. IV, pp. 1-10; L. Von Bertalanffy (1963), Concepción Biológica del Cosmos, Ed. de la Universidad de Chile, 245 p. En este caso L. von Bertalanffy plantea el problema de la totalidad dentro de la perspectiva de su Biología organísmica (organicism), la cual adolece, sin embargo, de terribles defectos positivistas y cae, a final de cuentas, en una concepción vitalista del problema. Un enfoque mecanicista de esto se encuentra en: E. Nagel (1974), La Estructura de la Ciencia, Ed. Paidós, Buenos Aires, pp. 389-403, y en: M.W. Wartofsky (1973), Introducción a la Filosofía de la Ciencia, Ed. Alianza Universidad, Madrid, vol. 2, pp. 453-474. Un enfoque que muy bien puede juzgarse de estructuralista se encuentra en: F. Jacob (1970), La Logique du Vivant, Ed. Gallimard, París pp. 320-345; aquí el autor substituye el término totalidad por el de integración.

(79) E. Kahane (1967), Bull. Soc. Chim. Biol., 49, 707-711.

dente comparación con la técnica humana: "(...)¿no es poco más o menos como si se pidiera que la industria del automóvil hubiera comenzado por la invención y la fabricación del carburador, del neumático o del diferencial actuales" (79).

En oposición a la teoría del "gene desnudo" o del moleculobionte, en contramos lo que podría denominarse teoría multimolecular o protocelular, la cual ya se ha tratado de manera preliminar cuando se hizo alusión a los modelos de Oparin y Fox. Todas las consideraciones de los portavoces de esta corriente están basadas, evidentemente, en un hecho bien conocido para todos los biólogos: todas las formas de vida hasta ahora conocidas (incluso fósiles), están compuestas por células, que a su vez, son el asiento último de los procesos vitales conocidos con el nombre genérico de metabolismo, de tal modo que la mayoría de los biólogos están de acuerdo en considerar a las células como verdaderas unidades biológicas o vivientes, estructural y funcionalmente. Esta generalización se conoce desde el siglo pasado como teoría celular.

Ahora bien, las células presentan una gama casi infinita de formas (anatómicas y funcionales), pero en todas ellas hay básicamente la misma composición físicoquímica y las mismas vías metabólicas fundamentales, todo lo cual apunta hacia la firme convicción de un origen común y, en consecuencia, nos hace pensar en que toda esa infinita variedad que hoy presenciamos, tanto en sus aspectos anatómicos como funcionales, es el resultado de un larguísimo proceso evolutivo; y esto es válido aun para aquellas formas unicelulares que se nos antojan como las más sencillas y primitivas, como sería el caso del Mycoplasma gallisepticum o partículas de PPLQ (80), que es un parásito estricto de algunas aves.

Como la célula (y cualquier organismo en general), sólo puede existir mediante el intercambio incesante de materiales con su medio circun-

(80) H. J. Morowitz y M.E. Tuortellote (1962), Sci.Am., 206 (3), 117. Reproducido en Readings from Scientific American (D. Kennedy, ed). The Living Cell, Ed. Freeman, San Francisco, (1965), pp 31-39. Hay edición española de Ed. Blume.

dante, es decir, por medio del metabolismo, es lógico pensar que éste representa el carácter más descolante y más universal de los sistemas vivientes. Esta fue una de las conclusiones generales más relevantes a las que se llegó en el siglo pasado y que se mantiene aún entre la mayoría de los biólogos. Engels expresó aquella conclusión en su ahora clásica definición de la vida, como "el modo de existencia de los cuerpos albuminoides, cuya nota esencial consiste en un intercambio permanente con la naturaleza exterior que los rodea y que, al cesar - este intercambio, dejan también de existir." (81). No obstante, Engels nos advirtió que "este intercambio de substancias puede darse en los cuerpos inorgánicos (...) Pero la diferencia está en que, tratándose de cuerpos inorgánicos, el intercambio de substancias los destruye, mientras que en los cuerpos orgánicos este intercambio constituye precisamente la condición necesaria de su existencia" (81) (v. supra, II, 6.2).

En términos generales, se puede definir al metabolismo como la suma total de procesos químicos catalizados por enzimas mediante los cuales se producen, se mantienen y se degradan simultáneamente los diversos componentes de las células. Desde luego, durante tales procesos se realizan de manera concomitante transformaciones energéticas. A mayor abundamiento, cabe señalar que todos estos procesos se dan en forma altamente coordinada y no caótica o desordenada. El metabolismo, entonces, tiene cuatro funciones específicas, según Lohninger:

- 1) obtener energía química de las moléculas combustibles o de la luz solar; -
- 2) convertir los nutrientes exógenos en unidades constructivas o en precursores de los componentes macromoleculares de las células; 3) ensamblar tales unidades constructivas en proteínas, ácidos nucleicos, lípidos y otros componentes celu-

(81) F. Engels (1961), Dialéctica de la Naturaleza, Ed. Grijalbo, México, p. 259. El subrayado es del propio Engels.

lares; y, 4) formar y degradar las biomoléculas requeridas en las funciones espe-
cializadas de las células (82).

De lo anterior se desprende que no puede separarse el metabolismo de la célula y viceversa; por ende, resulta una pésima analogía la que hacen los mecanicistas a menudo entre la célula y una pequeñísima bolsita dentro de la cual se realizan diversas reacciones químicas. La célula no es un simple espacio físico donde ocurren dichas reacciones; en consecuencia, hacer esta clase de comparaciones sin las aclaraciones pertinentes nos puede llevar a imágenes falsas o conclusiones peligrosas. Los mecanicistas en repetidas ocasiones han comparado también a las células, o a los organismos vivos en general, con las máquinas y llegan a la prematura conclusión de que los sistemas vivos son "máquinas químicas", postulado que sólo es posible aceptar en términos heurísticos, o bien, didácticos. Así pues, a los metafísicos esa apreciación les permite borrar de un plumazo toda diferencia esencial entre seres vivos y seres inertes y pretenden que con ello refutan de modo absoluto al vitalismo, cuando en realidad le abren las puertas de par en par (véase el caso de Monod, supra, III, 5). En tal virtud, para los mecanicistas no importa tanto la clase de materiales que componen a los sistemas vivos como la disposición o arreglo de ellos, tal como suceda en una máquina. A través de una óptica de tal laya no resulta difícil imaginarse sistemas biológicos basados en otros elementos químicos, es decir, en otras "bioquímicas" distintas a la del carbono. Esta idea también resulta de una concepción casualista del origen de la vida. Según estos científicos, la vida en la Tierra tiene como base al carbono por una simple coincidencia, porque así lo permitieron las condiciones reinantes en nuestro planeta, pero en otros

(82) A.L. Lehninger (1975), Biochemistry, Ed. Worth, Nueva York, p. 363.

planetas las condiciones podrían ser muy distintas y otros elementos podrían substituir al carbono integrando, de ese modo, una "bioquímica" distinta, extraña o exótica para nosotros. A esta clase de seres vivos formados mediante esa "bioquímica exótica", los han llamado xenobiontes algunos de los partidarios de estas ideas. P.H.A. Sneath, considera que la idea ampliamente difundida de que la vida sólo podría basarse en el carbono "parece ilícitamente pesimista" (83); y el astrónomo inglés A. Allison, por su parte, dice que "es conveniente mantener la mente abierta" y pensar en la posibilidad de otras formas de vida totalmente distintas a las que conocemos (84). Los candidatos más viables para substituir al carbono, según estos científicos, serían los elementos miembros de la familia del carbono: silicio, germanio y estaño, pero también cabría la posibilidad de otros elementos más (nitrógeno, fósforo, arsénico, etc). (83). El silicio ha sido el más socorrido en esta clase de especulaciones; un poco menos lo han sido el boro y el germanio. Al parecer, J.E. Reynolds fue el primero que propuso, en 1909, la probable existencia de un "protoplasma a alta temperatura" contenido silicio en vez de carbono (*). Por aquel entonces la bioquímica apenas comenzaba a dar sus primeros pasos con grandes titubeos y la química orgánica aún no se consolidaba propiamente, de modo que una hipótesis como la de Reynolds podía tener cabida a pesar de su audacia, pero continuar pertinazmente con hipótesis semejantes en nuestros días en otra cosa, pues no sólo denota una ignorancia lamentable en términos químicos y biológicos sino una falta de sentido. Hipótesis como esas, que son más bien propias de la ciencia ficción que de la ciencia verdadera, apelan tácitamente al muy viejo y socorrido postulado positivista -que arranca del empirismo vulgar y miope de Hume y Berkeley- de que no es posible,

(83) P.H.A. Sneath (1970), Planets and Life, Ed. Thames and Hudson, Londres, pp. 131-143.

(84) A. Allison (1968), J. Brit. Interplanet. Soc., 21, 48-51.

(*) Citado por V.A. Firsoff (1962-1965), op. cit. (86).

en realidad, la inducción científica, y que, por ende, toda generalización en la ciencia es en rigor sólo una hipótesis, en virtud de lo cual siempre caben otras muchas probables y contradictorias (v. supra, III, 3 y 4). Estos lineamientos de escuela bocan a menudo dramáticamente en aforismos tales como: "todo es probable" o "todo es posible". Así pues, en aras de "mantener la mente abierta" se cometen toda serie de excesos y atropellos contra la razón y la ciencia.

Pero, no sólo al carbono ha sido víctima de estas "substituciones" - especulativas, también el agua. Fue J.B.S. Haldane el primero en plantear la probable existencia de seres vivos cuyo disolvente vital fuera el amoníaco líquido y no el agua (85), debido a las semejanzas que aquél guarda con éste a bajas temperaturas (-50°C). El más vehemente defensor de esta hipótesis ha sido el astrónomo V.A. Firsoff (86). A este científico le parece, incluso, que el amoníaco líquido presenta ventajas substanciales sobre el agua como disolvente vital (86) (*). Otro defensor apasionado de estas ideas es Sneath (83).

Los promotores de estas especulaciones exageran las similitudes entre una y otra sustancias y pasan por alto las diferencias que no son simplemente cuantitativas sino cualitativas. Es cierto que el carbono y el silicio comparten algunas propiedades, como también es cierto que la especie humana tiene grandes afinidades con el resto de los mamíferos, pero esto no me da derecho para pensar que en otros planetas los burros, los murciélagos, los lemmings o algunos monos antropoides pudieran forjar una sociedad y una civilización más o menos iguales a como las hemos conocido aquí en la Tierra. Tal apreciación sólo demostraría una ignorancia total del proceso evolutivo. Así como no fue casualidad que el hombre formara una sociedad que no tiene parangón con alguna otra

(85) J.B.S. Haldane (1954), New Biology, No. 16, Ed. Penguin, Londres, pp.12-27.

(86) V.A. Firsoff (1962), Discovery, 23, 36-42.

(*) Menciona por ejemplo que el amoníaco líquido es más eficaz como disolvente electrolítico probablemente debido a su mayor fluidez.

del reino animal, tampoco fue casualidad que el carbono fuera el responsable de la existencia de vida sobre la Tierra y, seguramente, también de la vida en otros planetas. La química nos enseña que son más y de mayor envergadura las diferencias entre el carbono y el silicio que sus similitudes. El silicio tiene más parecido con el boro (87), que con el carbono. Son a tal grado esas diferencias que nos parece que el silicio es la antítesis del carbono, pues mientras éste preside la química de la vida aquel preside la química de lo inerte y no precisamente por una casualidad.

La objeción que más se ha presentado a la hipótesis del silicio como base de la vida en otros planetas (50, 88,89), proviene de su incapacidad notable para formar cadenas a través de enlaces consigo mismo (Si-Si), los cuales cuando se forman son muy inestables, cosa que en gran parte se explica por la relativamente baja energía de unión de dichos enlaces, que es de 42 Kcal/mol(87). En cambio, el carbono muestra una gran facilidad para formar enormes cadenas enlaces C-C cuya energía unión de 83 Kcal/mol (87) (*).

Otra importante objeción radica en la gran resistencia que presenta el silicio para formar enlaces múltiples (dobles o triples ligaduras) (88,89). Asimismo, los óxidos del carbono son gases (compuestos moleculares), muy solubles en agua, en cambio los de silicio son sólidos insolubles de estructura cristalina muy estable, como el cuarzo (SiO₂).

Peor aún resulta que el silicio difícilmente se combina con el hidrógeno para formar hidruros (llamados silanos) (**), y los pocos que forman son muy

(87) P.A. Cotton y G. Wilkinson (1975), Química Inorgánica Avanzada, Ed. Limusa, México, pp. 271-306 y 483-512.

(88) G. Wald (1964), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A., 52, 595-611.

(89) C. Ponnampertuma (1972), The Origins of Life, Ed. E.P.Dutton, Nueva York, pp. 113-119. Véase también B. Pullman (1972), en C. Ponnampertuma, ed. (1972), op. y ed. cit. (53), pp. 136-169.

(*) Las cadenas que el silicio forma en sus compuestos están integradas por átomos de oxígeno que sirven de enlace entre los átomos de silicio: Si-O-Si- etc.

(**) Es oportuno notar que en el caso del silicio se trata de verdaderos hidruros.

inestables (apenas se forman seis: SiH_4 , Si_2H_6 , Si_3H_8 , Si_4H_{10} , Si_5H_{12} y Si_6H_{14}), sobre todo los de mayor peso molecular, lo cual obedece, principalmente, a la debilidad del enlace Si-Si (87,90), situación que contrasta totalmente con la del carbono. Este hecho tiene la mayor relevancia porque basta recordar que la química orgánica o química del carbono es en realidad la química de los hidrocarburos y sus derivados. Huelga continuar la lista de las diferencias entre el carbono y el silicio pues sería muy larga. Así pues, entre el carbono y el silicio hay un abismo tan grande como el que existe entre el burro y el Homo sapiens.

Respecto a la posible substitución del agua por el amoníaco líquido como disolvente vital, habría que decir, en primer lugar, que una substitución de un disolvente por otro no es cosa fácil, como nos quieren hacer creer Haldane, Firsoff y Sneath, pues, como señalan Morrison y Boyd (91), "un disolvente no es - simplemente un lugar -una especie de gimnasio- en el que las moléculas de soluto pueden brincar libremente para chocar entre sí ocasionalmente; el disolvente está íntimamente comprometido en toda reacción que se desarrolla en él; apenas estamos comenzando a descubrir cuán comprometido está y de qué modo" (*). Resulta tan cierta esta aclaración que Firsoff se ve obligado a proponer cambios o substituciones de unas substancias (solutos) por otras para no desajustar su esquema basado en el amoníaco; en consecuencia, tiene que eliminar el oxígeno de la composición de los aminoácidos y las proteínas colocando en su lugar al nitrógeno y -

pues la electronegatividad del hidrógeno (=2.1), es superior a la del silicio (=1.8); en cambio, en el caso de los compuestos de carbono con el hidrógeno se trata de - carburos ya que el carbono es ligeramente más electronegativo (=2.5), que el hidrógeno. Este pequeño detalle es de la mayor importancia (ver ref. 90).

(90) M. Bargalló (1962), Tratado de Química Inorgánica, Ed. Porrúa, México, pp. 474-476.

(91) R. T. Morrison y N.R. Boyd (1976), Química Orgánica, Ed. Fondo Educativo Interamericano, Bogotá, p. 34.

(*) El subrayado es original.

de esa manera, según él, mantener la similitud. Así, entonces, para que no se venga abajo su castillo de naipes nos dice Firsoff que, "la reacción de oxidación sería superflua en un mundo basado sobre el amoníaco líquido como disolvente dominante (...) De este modo, las mismas reacciones de degradación química que producen energía por oxidación en nuestro sistema serían realizadas en aquel mundo por medio de nitrógeno. En vez de agua y de dióxido de carbono como productos finales, tendríamos amoníaco y cianógeno (C_2N_2) que es el análogo del dióxido de carbono (CO_2)" (85). A renglón seguido, concluye el citado autor: "El hecho de que respiremos oxígeno es la consecuencia del hecho de que bebemos agua. Los animales de Júpiter -en donde se supone que podrían darse estos procesos- podrían respirar nitrógeno y beber amoníaco líquido" (!). A estas exageradas simplificaciones Wald ha respondido oportunamente: "Uno, desde luego, puede respirar nitrógeno, como lo hacemos todo el tiempo; pero la respiración es en esencia una combustión y el nitrógeno es incapaz de sostener la combustión aquí -en la Tierra- y en cualquier otra parte" (88). Se ha demostrado además que el amoníaco sólido es incapaz de flotar en el amoníaco líquido como lo hace el hielo sobre el agua (88), lo cual tiene un significado fundamental para el mantenimiento de la vida en nuestro planeta.

Para resumir, estas hipótesis descabelladas ignoran o pasan por alto los numerosos y complejos factores que pueden afectar a los procesos químicos, sobre todo aquéllos que determinan la base química de la vida. Concluyendo, no se descarta la posibilidad de otras formas de vida pues pecaríamos de necios si consideráramos que la vida en otros mundos tendría que ser una réplica de la existente en la Tierra, pero, está claro asimismo que unas y otras formas vivientes detentarán, necesariamente, como base química a los compuestos del carbono, o para ser más precisos, los compuestos derivados de los hidrocarburos.

Por lo tanto, en los párrafos anteriores, se podrá reparar en que -

los seres vivos deben fundamentalmente su organización a la composición química peculiar que poseen, lo cual los distingue de manera primordial de cualquier máquina. Por otra parte, los mecanicistas pasan por alto una cosa importante: las máquinas -como atinadamente señala Oparin- son el fruto de la actividad psíquica del hombre, de su esfuerzo creativo (10) (*); en otras palabras, las máquinas son el producto de la evolución biológica más refinada y, sobre todo, de la evolución social. Nadie puede imaginar el surgimiento de una máquina a partir de la materia inerte en forma espontánea. Al mismo tiempo, nadie puede imaginar la evolución de las máquinas, su mejoramiento, al margen de la propia sociedad que las engendra. Las máquinas imitan tan sólo algunas propiedades de los sistemas vivos o biológicos por medios peculiares y muy diversos y, a la vez, disímiles de aquéllos realizados en el ámbito de lo que llamamos viviente.

Todas estas ideas pueden parecer una simple perogrullada o una fofonearía que, por lo tanto, no deben tomarse en consideración, pero olvidarse de estos hechos fundamentales y encima de ello establecer analogías de ese tipo - puede conducirnos a tesis creacionistas de nuevo cuño disfrazadas con un lenguaje científicista, invocando el azar como lo hace Jacques Monod (Supra, III,5).

Estas tendencias no resuelven ningún problema porque sencillamente no explican nada y abonan el terreno para las especulaciones teológicas.

Se ha dicho que un verdadero denominador común de los seres vivos radica en el metabolismo cuya mínima expresión se halla a nivel celular, pero a algunos biólogos no les parece esta definición porque se excluye a los virus - que carecen de una estructura celular y por consiguiente de metabolismo; sin embargo, los virus son capaces de reproducirse, de ahí que, especialmente los virólogos, consideren que la verdadera esencia de la vida se asienta en la re-

(*) Véanse las págs. 1- 8 de la op. cit.

producción (92). No obstante, los virus no pueden reproducirse espontáneamente sino que requieren por fuerza de una célula viva a la cual parasitan gracias a cuyo aparato metabólico les es posible formar los compuestos bioquímicos necesarios para el ensamble de nuevas unidades de virus. Asimismo, la reproducción celular es posible únicamente a expensas del metabolismo de la propia célula. Si por otro lado se juzga superficialmente a los virus se puede caer en la cuenta de que son estructuralmente simples, pues, en general, sólo constan de una cubierta proteica y una molécula de ácido nucleico dentro de ella, todo lo cual puede conducirnos al error de considerar a los virus como las formas más simples de vida o como la verdadera frontera entre lo vivo y lo inerte y, también, a plantear que un protovirus, capaz de mantener una "vida libre", pudiera haber sido el inicio de la vida en nuestro planeta como han supuesto algunos científicos (93). Estos razonamientos desembocan irremediabilmente en las teorías de las "moléculas vivientes". Bajo ningún concepto puede considerarse a los virus como formas simples o primitivas, ya que demuestran un alto grado de especialización que solamente pudo generarse a través de un largo proceso de evolución. Los virus son un producto de la evolución biológica. Por consiguiente, los virus no son un simple ensamble o agregado de proteínas y ácidos nucleicos como podría juzgarse observando su estructura al margen de todo análisis histórico o evolutivo.

Ahora bien, si se ha dicho que la nota característica de cualquier sistema viviente está representada por el metabolismo, entonces se puede presumir que las formas más primitivas de seres vivos (protobiontes), poseían de alguna manera una especie de metabolismo integrado por un mínimo de reacciones químicas.

En seguida se analiza esta cuestión a grosso modo.

(92) W.M. Stanley (1959), en: A.I. Oparin, A.G. Parynskii, et al., eds. (1959), op. y ed. cit. (11) pp. 313-321.

(93) C. Carvajal. (1970), en: R.N. Ondarza, ed. (1970), Introducción a la Biología Moderna, Ed. Fondo de Cultura Económica, México, pp. 13-60.

3.2. ORIGEN Y PROBABLES CARACTERÍSTICAS DE LOS PROTOBIONTES

De acuerdo con la hipótesis de Oparin, los protobiontes serían una especie de gotitas de coacervados (o microesferas u otras microestructuras) - (supra, V,2), con la capacidad de mantener un intercambio constante de materiales con el medio ambiente, o sea, que poseerían un metabolismo sumamente elemental. Según el ilustre científico soviético, los protobiontes representarían el verdadero puente entre lo inerte y lo vivo, entre la evolución química y la evolución biológica (94); por lo tanto, debieron compartir diversas propiedades ostensibles de ambos reinos. Es probable que cualidades vitales tan arcaicas y precarias como las de los protobiontes pasaran inadvertidas frente a nosotros a primera vista, tal como señala Marcel Prenant^(*). Oparin ha definido a los protobiontes, en términos generales, como sistemas polimoleculares abiertos e individualizados que permitían la incorporación de diferentes catalizadores inorgánicos y orgánicos del exterior (5,10,12,95,96). Gracias a esos catalizadores - era promovido y conservado, en gran medida, un estado estacionario dinámico (steady-state), alejado del equilibrio termodinámico. Así pues, los protobiontes tenían ya una organización considerablemente más completa y compleja que las estáticas gotas de coacervado comunes y corrientes, pero asimismo, eran mucho más simples y arcaicas que aun el más primitivo de los seres vivos actuales - (10, pag. 124). De esta manera se modificó radicalmente el carácter de la estabilidad de los sistemas coloidales iniciales (5), es decir, los coacervados propiamente dichos (supra V, 2.1), pues, mientras en éstos es estática en los protobiontes era dinámica.

(94) A.I. Oparin (1971), en: R. Buvet y C. Ponnamparuma, eds. (1971), op. y ed. cit. (15), pp. 1-9.

(95) A.I. Oparin (1968), Sci. Cult., 24, 4-9

(96) A.I. Oparin (1968), El Origen y Evolución de la Vida, Ed. Curie, Buenos Aires, pp. 43-90.

(*) Citado por E. Kahane op. cit. (79).

Por otra parte, la estabilidad de los protobiontes estaba en gran medida determinada por la particular organización y composición química de los mismos, de tal modo que es de imaginarse una enorme diversidad en ellos, de magnitud equiparable a la de los territorios o áreas subvitales (*) en donde se formaban. Dentro de esa variedad de protobiontes habría algunos que ostentarían características ventajosas respecto a otros, porque poseían catalizadoras más eficientes y reacciones químicas mejor acopladas y coordinadas. Se puede suponer que estos sistemas mejor dotados desde el punto de vista dinámico mostrarían una mayor estabilidad que otros microsistemas menos organizados. Oparin señala que a este nivel tendría lugar una selección natural de tipo prebiológico de acuerdo con "la supervivencia del más apto". De este modo serían eliminados o disgregados aquellos sistemas peor equipados para responder a las demandas del ambiente y sus materiales podrían enriquecer el medio para generación de nuevos coacervados dinámicos con más probabilidades de éxito; así, se repetirían varios ciclos de generación simultánea de protobiontes distintos, que darían lugar a un amplio abanico de posibilidades en un medio ambiente dado, según una especie de ensayo y error (5,9,10,12,94,97). De acuerdo con lo precedente, la formación de los protobiontes se daría en múltiples ocasiones en las distintas áreas subvitales, por lo que no se trataría de un proceso único. Esto dio pie para la producción de formas cada vez más perfeccionadas y más viables. Este proceso evolutivo llegó a su culminación según reza la hipótesis de Oparin- con la génesis de las formas primitivas de vida

(*) Concepto acuñado por J.D. Bernal, que puede definirse como aquellas zonas más o menos ricas en diversos compuestos orgánicos, sobre todo polímeros, cuya composición química y extensión geográfica variaban y que fueron el asiento de la formación de los protobiontes y/o de los primeros seres vivos propiamente dichos.

(97) A.I. Oparin (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (8) vol. 2 pp. 223-226; véase también: A.I. Oparin (1976) Origins of Life, 7, 3-8.

propriadamente dichas--los primeros subiontes-- de las cuales derivaron todos los sistemas vivientes que conocemos.

Los avances que lograron los protobiontes en su largo proceso evolutivo, consistirían en la adquisición de mejores catalizadores inorgánicos primero y luego orgánicos, como ciertas coenzimas, una red cada vez más completa y acoplada de reacciones químicas que permitieran el mejor aprovechamiento de las sustancias del medio ambiente por medio del enlance de las reacciones de óxidación-reducción, fosforilación y de síntesis, de cuyo adecuado balance podría resultar un aumento de volúmenes -crecimiento- que sería traducible, asimismo, en un proceso de reproducción propiciado por factores endógenos. Por consiguiente, - los sistemas más ordenados, es decir más organizados, serían los más dinámicos y los que se verían favorecidos por la selección natural prebiológica. Finalmente, con la aparición de las enzimas primitivas y los polinucleótidos capaces de regularlas y servir de plantillas o protoplantillas para su síntesis, se dio paso a la evolución biológica en el estricto sentido del término.

Está claro que los protobiontes se podían formar del material orgánico producido abióticamente en las etapas previas de la evolución química y que gracias al mismo mantenían su estado estacionario dinámico; por ende, su integridad y ulterior desarrollo. Se trataba, pues, de sistemas heterótrofos.

De lo anterior se infiere que los protobiontes se encontraban rodeados de un medio ambiente complejo, muy semejante al propio medio interno de ellos (por lo menos en un principio). Sin embargo, había una diferencia importante entre estos dos medios: la concentración relativa de las sustancias. Ya se ha mencionado (supra V, 2.1), que en las gotitas de coacervados aumenta considerablemente la concentración de las sustancias respecto de la del líquido equilibrante del cual se forman. Este hecho repercute, en primer lugar, en la cinética química del coacervado, sobre todo en presencia de determinados cataliza-

dores los que, a su vez, abaten la energía de activación de los reactivos. Esta diferencia primaria entre el medio ambiente y el medio interior del coacervado -o la microsfera- se iría acrecentando por la síntesis de polímeros de orden superior dentro de los microsistemas en cuestión, la cual, a juicio de Oparin, sería poco probable en el medio ambiente dado el carácter de mayor dilución en que se encuentran los reactivos (supra V, 2.1).

Antes de agotar este punto es forzoso hacer una aclaración respecto al concepto de selección natural empleado por Oparin y numerosos autores interesados en el problema de la biogénesis (1,66). Oparin ha extendido este concepto darwiniano hasta los llamados protobiontes, pero otros investigadores lo llevan más lejos, hasta la etapa de los compuestos generados abióticamente (98,99).

Oparin justifica el empleo del concepto de selección natural a nivel prebiológico y critica a sus detractores diciendo que "es erróneo pensar que la vida apareció primero y luego las leyes biológicas o, al contrario, primero fueron establecidas las leyes biológicas y luego emergió la vida. Este planteamiento de la cuestión es una reminiscencia del viejo argumento escolástico de qué fue primero, la gallina o el huevo" (*). A continuación este científico indica: "La dialéctica nos obliga a considerar la evolución de los seres vivos y la formación de las leyes como una unidad indisoluble. Es por esto que es completamente permisible considerar que los protobiontes -aquellos sistemas- que fueron el punto de partida para el génesis de la vida- sufrieron evolución no sólo como resultado de lo que eran propiamente leyes físicas y químicas sino también leyes biológicas en germen, entre ellas la selección natural prebiológica. En este sentido, es posible establecer un paralelo con la formación

(98) N.H. Horowitz (1945), Proc.Nat.Acad. Sci.U.S., 31, 153-157.

(99) G. Wald (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al. eds, (1974) op. v ed. cit. (8), vol. 2, pp. 7-27.

(*) Op. y ed. cit. (10), p.130, Véase también op. cit. (96), p. 94.

del hombre, es decir, con la aparición de la forma social del movimiento de la materia, más evolucionada aún que la vida misma. Como se sabe, semejante forma apareció, no fue tanto el resultado de factores biológicos como de factores que moldearon la sociedad, particularmente la actividad laboriosa de nuestros ancestros; estos factores sociales emergieron en una etapa muy precoz de la homogénesis y luego se perfeccionó poco a poco. Así como la aparición del hombre no puede considerarse únicamente como resultado de las leyes biológicas, del mismo modo, no se debe reducir el génesis de los seres vivos a un efecto exclusivo de las leyes de la naturaleza inorgánica" (10,95) (°).

No hay duda de que la larga cita precedente tiene elementos correctos, pero su justificación respecto a la aplicación de la selección natural en este contexto es inválida, pese a que nos indica, en otra parte, que su concepto de selección natural prebiológica no tiene un sentido estrictamente darwiniano (12). En primer lugar, se basa en una concepción superficial de la selección natural ya que alude al lema spenceriano de "la lucha por la existencia y la supervivencia del más apto", que desde luego no es de Darwin, el cual, por otro lado, resulta pura tautología simplista que ha conducido a terribles errores de interpretación de la teoría evolutiva en numerosos casos. Respecto a estas apreciaciones equívocas Simpson asienta: "En la actualidad ya debería ser evidente que el proceso -se refiere a la selección natural- no depende de la 'existencia' o la 'supervivencia', en el sentido en que se aplican a los individuos esos términos, ni tampoco en la forma más profunda y explicativa en que se aplican a las poblaciones y a las especies. Depende de un fenómeno completamente distinto: la reproducción diferencial. La selección natural no favorece lisa y llanamente al "más apto" sino al de mayor descendencia" (73) (°°). Así pues, repitiendo las palabras del mismo Simpson: "La selec

(°) El subrayado es mío.

(°°) Véanse las págs. 221-225. El subrayado es mío.

ción natural no es primordialmente un proceso de eliminación. Es un proceso de reproducción diferencial, y esto implica una compleja y delicada interacción de los factores genéticos en las poblaciones que son la base sólida de la continuidad evolutiva y el cambio" (73). Asimismo, el referido autor nos hace recordar que "las características de un organismo como un todo integrado no dependen de la acción de uno u otro gene, sino de la acción del conjunto de todos los genes que interactúan. Algunas combinaciones producen organismos mal integrados y otras los producen bien integrados" (73). Por consiguiente, como nos dice Dobzhansky, "la esencia de la selección natural es la reproducción diferencial de las distintas dotaciones de los agentes hereditarios" (100).

Por lo que se acaba de señalar, resulta obviamente inadecuado aplicar el concepto de selección natural al ámbito de la evolución prebiótica, incluyendo a los protobiontes, por la simple y sencilla razón de que éstos carecían de ese complejo aparato hereditario que garantiza la reproducción en los términos señalados. En tal virtud, sólo cuando hacen su aparición esos mecanismos de reproducción, aunque fuera en forma incipiente, da comienzo la selección natural.

De todo lo antedicho se desprende que es contradictorio -como lo ha señalado en su oportunidad Dobzhansky (101)- el término selección natural prebiológica usado por Oparin.

Cabe aclarar que ésta no es una crítica de inspiración vitalista como la que hicieron Mora (102), ni tiene relación alguna con argumentos de la escolástica medieval; por el contrario, está en absoluta concordancia con la dialéctica materialista. Así, siguiendo el paralelismo utilizado por Oparin, puede

- (100) Th. Dobzhansky (1970), Genetics of the Evolutionary Process, ed. Columbia University Press, Nueva York, p. 2. Hay traducción española de ed. Extemporáneos, RI subrayado es mío.
- (101) Th. Dobzhansky (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (13), pp. 309-310.
- (102) P. Mora (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), op. y ed. cit. (13) pp. 39-53 y 310-312.

decirse que la aplicación del concepto de selección natural a nivel de los protobiontes resulta tan equivocada como emplear el concepto de lucha de clases a nivel del Australopithecus que, según todos los indicios paleontológicos más recientes, fue el punto de partida del origen del hombre.

Naturalmente, es lícito hablar de procesos de selección pero estos no tienen nada en común con la selección natural. Cualquier persona con conocimientos elementales de química sabe que bajo determinadas condiciones fisicoquímicas hay diversas sustancias más estables que otras, así como sustancias totalmente inestables. Puede decirse que esta es una especie de selección química o fisicoquímica, que depende tanto de la naturaleza de la sustancia en cuestión como de las características del medio en el que se halla. Es por ello que diversos autores interesados en la biogénesis hablan de selección química o molecular cuando aluden a la evolución química o prebiológica. Kenyon, por su parte, ha querido ser más explícito y preciso, así, nos habla de ordenamiento - prefigurado y de protoselección (103). El primero, aplicable a la evolución prebiótica previa a la aparición de los protobiontes, el segundo, lo sería para la evolución de éstos. El ordenamiento prefigurado se pone de manifiesto en la formación de las cadenas peptídicas o polipeptídicas por vía abiótica, en la cual los aminoácidos que entran en su composición lo hacen de acuerdo a su propia naturaleza, o sea, conforme a sus características estereoquímicas y a su configuración electrónica (supra, IV, 3.2, a y b); por lo tanto, el proceso no es al azar. Esto no es únicamente extensible a otros oligómeros o polímeros orgánicos, también es válido para compuestos monoméricos (recuérdese el caso de la adenina y sus derivados) (v. supra, IV 2.2. a y 3.3).

Según Kenyon, la protoselección sería un análogo imperfecto de la selección natural (103). Este concepto, así expresado, nos lleva, desde luego,

(103) D.H. Kenyon (1974), en: K. Dose, S.W. Fox, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (21), pp. 207-220.

a la consabida confusión ya analizada, toda vez que no se trata de simples diferencias cuantitativas entre uno y otro tipo de selección -como se ha visto- sino de las mismas diferencias que es posible inferir entre protobiontes y eubiontes. En consecuencia, para evitar equívocos o ambigüedades, es pertinente reservar el término protoselección para referirse a la selección de aquellos sistemas protoceulares que disponían de reacciones protometabólicas mejor integradas y de catalizadores más eficientes y que desembocó, finalmente, en el origen de los primeros eubiontes, es decir, de sistemas protocelulares dotados ya de un genoma propiamente dicho (infra, V,3.3), basado en los ácidos nucleicos.

3.3. DE LOS PROTOBIONTES A LOS PRIMEROS EUBIONTES.

¿Cómo evolucionaron los protobiontes? ¿De qué manera se pudo llegar a la formación de los primeros eubiontes?

Como era de esperarse, las dificultades para responder a estas interrogantes son enormes y solamente la investigación futura podrá hacerlo de manera convincente. Por ahora quedan tan sólo las conjeturas y la especulación.

Primeramente, debe señalarse que el esquema propuesto por Oparin, analizado arriba, al cual se asemeja en términos generales al de Fox, no es aceptado por todos los científicos interesados en la biogénesis. Bernal, por ejemplo, estima que la individualización en microsistemas se realizó en una etapa tardía, por que "sin una reproducción molecular definida es muy difícil comprender lo que es un organismo; si tan sólo se trata de una porción separada de una extensión indeterminada de material metabólicamente activo, no tiene razón de ser - su individualización" (1) (2). De este modo, Bernal distingue el origen de la vida del origen de los organismos (1). De acuerdo con esta hipótesis, el ori

(2) p. 146.

gen de la vida precedió al origen de los organismos; el primer acontecimiento se verificó con el establecimiento de las primeras y más primitivas vías metabólicas, constituyéndose así, las llamadas áreas o territorios subvitales. La evolución de esas áreas culminó con la aparición de los primeros procesos de replicación de moléculas como los ácidos nucleicos. En esas condiciones se sentaron las bases para la individualización, es decir, para la formación de los primeros organismos. Ahora bien, el referido autor indica que esto pudo suceder por fenómenos de coacervación u otros (1).

Ideas prácticamente iguales a las de Bernal, se hallan contenidas en la "hipótesis del bión", de Gordon Allen (104,105), y en la de los "organismos-ecosistemas", de Ramón Margalef (106,107).

El principal escollo que se les presenta a estas teorías, es que en un sistema tan extenso e indefinido, la concentración de los materiales sería muy baja y las reacciones muy lentas y caóticas; igualmente, la selectividad sería demasiado pobre. De cualquier modo, no puede descartarse esta posibilidad en el nivel en que se encuentran nuestros conocimientos.

Por otra parte, retomando las ideas de Oparin acerca de los protobiontes y su evolución, que dio lugar al origen de los primeros eubiontes, es necesario establecer algunos conceptos y hacer ciertas aclaraciones.

En primer término, se destaca que el metabolismo arcaico ostentado por los protobiontes no tenía carácter enzimático, ya que la catálisis era efectuada por iones metálicos (Fe^{+2} , Cu^{+2} , Mn^{+2} , etc), y algunas especies de coenzimas o de otros compuestos orgánicos, como ciertos aminoácidos. Por lo tanto, se -

(104) G. Allen (1970), Perspect. Biol. Med., 14, 109-126.

(105) G. Allen (1971), en: A.W. Schwartz, ed. (1971), Theory and Experiment in Exobiology, ed. Wolters-Noordhoff, Groningen, vol. 2, pp. 1-32.

(106) R. Margalef (1975), Perspectives in Ecological Theory, ed. The University of Chicago Press, Chicago, pp. 100-102.

(107) R. Margalef (1977), Ecología, ed. Omega, Barcelona, pp. 897-898.

trataría de un metabolismo pre-enzimático. La noción del metabolismo pre-enzimático es sugerida por razones de índole histórica, pues moléculas tan especializadas como las enzimas, sintetizadas por un complejo aparato programador, no pudieron irrumpir en el panorama de la evolución prebiológica de la noche a la mañana. Concurren en apoyo de este razonamiento diversas experiencias de laboratorio que demuestran la posibilidad de síntesis, en especial de oligómeros y polímeros de aminoácidos, en ausencia de enzimas. En el capítulo anterior ya se han mencionado algunas de esas experiencias (supra, IV,3).

La tarea futura de la ciencia de la biogénesis es encontrar modelos arquetípicos de las vías metabólicas presentes en los organismos contemporáneos (108,109), y buscar, en la medida de lo posible, algunos vestigios de esas vías metabólicas, es decir, "fósiles metabólicos" (108), en los seres vivos actuales.

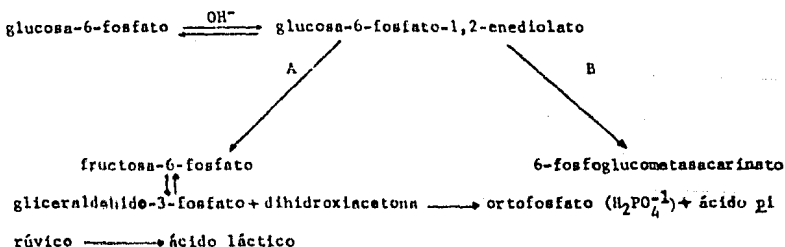
3.3.a. ORIGEN DEL METABOLISMO.

Solamente conjeturas pueden hacerse sobre el origen y las características del metabolismo primordial, ya que por ahora se dispone de muy escasos datos para que sea posible una reconstrucción satisfactoria. Es por ello que se plantean varios modelos alternativos de supuestos procesos metabólicos arcaicos, así como de su evolución ulterior hasta dar lugar a las vías metabólicas más generalizadas hoy en día en los seres vivos (metabolismo intermediario). Huelga decir que este es el verdadero quid del problema de la biogénesis.

¿Cómo se llegó al estado actual de esa intrincada red de reacciones químicas acopladas y coordinadas de manera tan precisa que constituye el metabolismo intermediario? ¿Cuál fue su punto de partida y qué fuerzas la determinaron? A continuación se presentan, en líneas generales, algunas hipótesis para responder tentativamente a estas preguntas.

- (108) F. Lipman (1965), en: S.W. Fox, ed. (1965), *op. cit.* (13), pp. 259-273.
(109) R. Buvet (1974), L'origine des Êtres Vivants et des Processus Biologiques, ed. Masson et Cie., Paris, pp. 96-123

En 1945 Horowitz (97) sugirió que algunas de las vías metabólicas de los sistemas vivos actuales se desarrollaron en el medio ambiente prebiótico. Algunos autores basan en esta suposición una hipótesis de trabajo: que "las principales vías biosintéticas son una recapitulación de las reacciones prebióticas más eficientes que se verificaron en condiciones físicas no muy distintas de aquellas que prevalecieron en los organismos primitivos" (110), de modo similar a como lo es la llamada "ley biogénica". En apoyo de la hipótesis referida están los compuestos intermediarios que han podido detectarse en diversos experimentos de síntesis abiótica de sustancias biológicamente relevantes - como la adenina, las porfirinas y otras (v. supra, IV), así como la degradación del 6-fosfato de glucosa (glucosa-6-fosfato), en medio alcalino y en ausencia total de enzimas (111). A continuación se ilustra esquemáticamente este proceso espontáneo:



Por el esquema anterior (vía "A") habrá de notarse el enorme parecido que presenta esta degradación de la glucosa con la glucólisis anaeróbica, que sin excepción se lleva a cabo en todos los seres vivos contemporáneos. Por otra parte, la vía marcada con "B" no tiene lugar en ningún organismo actual y

(110) J. Oró y E. Stephen-Sherwood (1976), Origins of life, 7, 37-47.

(111) Ch. Degani y M. Halmann (1967), Nature, 216, 1207.

quedaría por verse si tuvo alguna importancia en la vida arcaica de los protobiontes.

Es también de importancia la fosforilación del monofosfato de glucosa (1 ó 6-fosfato de glucosa), hasta glucosa -1,6-di-fosfato, lograda por Degani y Halmann con ortofosfato disódico en presencia de cianógeno y en medio ligeramente alcalino (112).

Indudablemente, hechos como los anteriores avalan la idea de un metabolismo pre-enzimático como precursor del metabolismo actual.

De acuerdo con la hipótesis de Oparin-Haldane, los primeros organismos eran totalmente incapaces de sintetizar compuestos orgánicos a partir de sustancias más simples, por lo que eran heterótrofos en el sentido más estricto del término. Para construir un modelo plausible del origen y evolución del metabolismo primitivo es conveniente partir de dos premisas fundamentales, tal y como las ha propuesto Eakin (113): 1) hubo una etapa en el desarrollo del metabolismo arcaico que estuvo marcada por la incorporación creciente de cofactores orgánicos, que serían los ancestros funcionales de las coenzimas actuales y no necesariamente ancestros estructurales (113); y, 2) dichos cofactores ancestrales funcionaban catalíticamente sin proteínas, por lo que eran los primeros biocatalizadores que efectuaban su actividad mucho antes de que aparecieran las primeras enzimas.

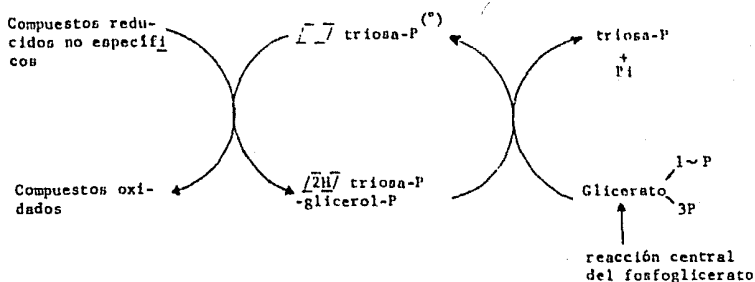
Eakin considera que el tipo más fundamental de reacción bioquímica es la transformación de la energía libre del medio ambiente en anhídridos de ácido fosfórico de alta energía. La sustancia que actualmente acepta, transporta y transfiere esos grupos fosforilo de alta energía ($\sim P$), en todas las

(112) Ch. Degani y M. Halmann (1972), New Biol., 232, 171-173; véase también en: R. Buvet y G. Ponnampuruma eds. (1971), op. y ed. cit. (15), pp. 224-230.
(113) R. W. Eakin (1963), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 49, 30-36.

células, es el ADP (adenosín-difosfato) (113). Eakin propone que un análogo funcional de este compuesto, mucho más simple, pudo asumir estas funciones, al cual simboliza como "ADP" (113). Partiendo de esas consideraciones, este científico desarrolla su "hipótesis de la reacción central". A partir de esa reacción se irían desarrollando otras, formando una compleja red de reacciones, que al final dio origen a las vías metabólicas que ahora conocemos. Según el citado autor, "la reacción central" sería la transformación del 2-fosfoglicerato (el cual probablemente se formó en las etapas previas de la evolución química), en ácido pirúvico o piruvato. En esta reacción se produce un compuesto rico en energía libre ($\sim P$), que podría estar encarnado por un "ADP" ancestro funcional del ADP. El "ADP" podría reaccionar con una segunda molécula de 2-fosfoglicerato (véase figura 25a y b), formando 2,3-difosfoglicerato, que sería un cofactor necesario para la conversión del 3-fosfoglicerato a 2-fosfoglicerato (113); esto quiere decir que el 2,3-difosfoglicerato es un catalizador en la síntesis del 2-fosfoglicerato (fig. 25 c). Este fenómeno muy bien puede tomarse como un ejemplo de autocatálisis (infra). Bajo las mismas condiciones se podría producir una cantidad equivalente de 3-fosfoglicerato (fig. 25 c); esta substancia serviría a su vez como aceptor de fosfatos, transformándose en 1,3-difosfoglicerato (fig. 25 d). Si en esas condiciones existiera un agente aceptor de hidrógeno arcaico, equivalente a la nicotinamida adenina dinucleótido ("NAD"), es de esperar que se produjera la reducción de 1,3-difosfoglicerato a 3-fosfato de gliceraldehído (3-fosfoglicerato) (fig. 25 e). A su vez, el "NAD" podía reducirse con el 3-fosfoglicerato (fig. 25 e) (113).

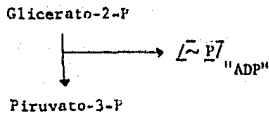
El ambiente que rodeaba a este sistema le abastecía de compuesto reducidos ($\sqrt{211}$ "NAD"), y de fosfatos activadores como serían los polifosfatos inorgánicos (113) (supra, IV, 3.1), y quizá también de tioésteres (108), todos ellos compuestos energéticos (con alto contenido de energía libre).

De acuerdo con lo antedicho, podría estimarse que compuestos como el 2-fosfoglicerato o fosfortriosa fueron verdaderos ancestros funcionales del ADP, puesto que puede donar y aceptar fosfatos. Al mismo tiempo, se podría considerar a la fosfortriosa como el ancestro funcional del NAD ("NAD") que al ser reducida a fosfato de glicerol funcionaría como portador y acarreador de hidrógenos ("NADH"). En tal virtud se puede expresar:

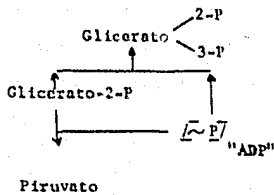


A partir del núcleo central de reacciones acopladas hasta aquí - referidas (fig. 25F), propuestas por Eakin como la primera gran etapa de la evolución del metabolismo primitivo, el mismo autor supone que pudo darse un subsecuente proceso de acreción de otros cofactores ancestrales con la consecuente expansión del núcleo original metabólico constituido por el fosfoglicerato. Así pues, el "NAD" pudo ligarse metabólicamente con el glicerol fosfatado, por un lado, y con los ácidos dicarboxílicos de cuatro carbonos, como el ácido málico, por el otro (113) (Fig. 26). Asimismo, habría contado con algunos aminoácidos como la serina, la glicina, la alanina y el ácido aspártico (que seguramente existían en el medio ambiente), a través de la cetroserina fosfatada (cetroserina-P), todo lo cual permitió algunas síntesis de los mismos a través

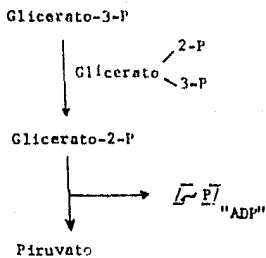
(*) Triosa-P: "NAD", Abreviaturas: triosa-P, fosfortriosa; glicerol-P, fosfato de glicerol; Pi, fosfato inorgánico; P, fosfato de alta energía.



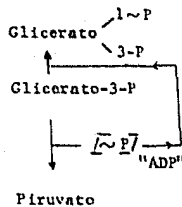
(a)



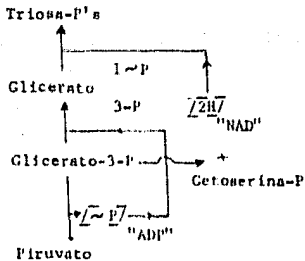
(b)



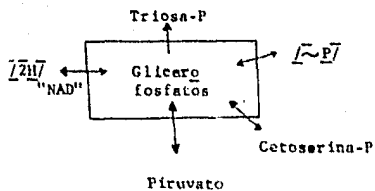
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura No. 25.- Esquema que ilustra la hipótesis de la reacción central propuesta por Eakin (113), para explicar el origen de las primeras vías del metabolismo intermediario. Explicación en el texto.

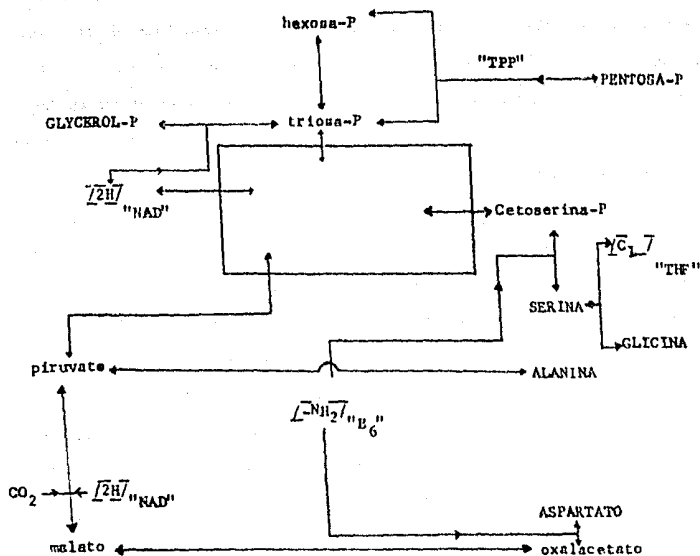


Fig. No. 26.- Esquema que ilustra la expansión de las vías metabólicas primitivas (a partir de la reacción central que está representada en el rectángulo del centro), según Eakin (113). Las flechas señalan la interconexión de las sustancias que participan en las reacciones del núcleo central con otras fuera de él, estableciéndose el aumento del número de reacciones al sumarse estas sustancias externas al núcleo por un proceso de acreción.
 Abreviaturas: "TPP", ancestro probable (funcional), del pirofosfato de tiamina; "THF", ancestro funcional del ácido tetrahidrofólico; -- "NAD", ancestro funcional de la nicotinamida-adenina-dinucleótido; - "B₆", ancestro funcional de la piridoxina (vitamina B₆).

de algún cofactor que hiciera las veces del ácido tetrahidrofólico (113) (Fig. 26). También podrían esperarse, desde luego, algunas condensaciones de aminoácidos, formándose oligopéptidos con funciones diversas, y condensaciones de triosas fosfatadas en hexosas. Del mismo modo podrían sintetizarse pentosas con el suministro de grupos formilo (por el ancestro funcional del ácido tetrahidrofólico), a las triosas o hexosas; las pentosas, a su vez, encadenadas a las unidades de ácido aspártico y glicina (Fig. 26), darían lugar más temprano o más tarde a la formación de nucleótidos (113).

De acuerdo con el modelo de desarrollo evolutivo del metabolismo primordial propuesto por Eakin, es posible imaginar cómo los protobiontes fueron desplegando su capacidad de "biosíntesis" a partir de un estado de absoluto heterotrofismo; así, a medida que las sustancias orgánicas fueron agotándose en el medio ambiente del Primoevo, los protobiontes equipados con sistemas de síntesis acopladas de dichos materiales pudieron subsistir, en tanto que aquéllos privados de esas cualidades sucumbieron y sus componentes sirvieron de alimento a los sobrevivientes, o fueron degradados por la radiación ultravioleta y por otros agentes físicos o químicos. Es probable, como sugiere Oparin (10), que las coenzimas o sus precursores asumieron papel de catalizadores principales en el metabolismo de los protobiontes, lográndose así un enorme mejoramiento en la efectividad funcional de aquellos sistemas. Algunos piensan que las coenzimas de naturaleza nucleotídica pudieron haber sido las primeras verdaderas "enzimas" (114), o bien éstas fueron pequeños polinucleótidos (115), por lo que las coenzimas actuales vendrían a ser "fósiles" de esas "enzimas nucleotídicas", y los fragmentos formados por el grupo prostético y el sitio activo de ciertas enzimas actuales, serían los "fósiles" de las primeras proteínas (114).

(114) H.B. White (1976), J. Mol. Evol., 7, 101-104.

(115) H. Brewin (1972), New Biol., 236, 101.

Otros autores juzgan que desde etapas muy tempranas del desarrollo de los protobiontes algunos péptidos funcionaban como catalizadores, siendo en realidad éstas las primeras enzimas (50,116,117). En apoyo de esta hipótesis se pueden mencionar los experimentos de Fox con los proteínoides y las microesferas (24,43) (supra, IV, 3.2. y V 2.2), así como las síntesis por distintos medios de péptidos en condiciones prebióticas simuladas.

No hay que olvidar, desde luego, el papel trascendental que deben haber jugado desde el principio diversos iones, en especial cationes metálicos como los de hierro (Fe^{++} , Fe^{+++}), magnesio (Mg^{++}), manganeso (Mn^{++}), etc., ya subrayado en su oportunidad por Oparin. Igualmente debe tenerse presente la importancia que el estado coloidal podía representar en el metabolismo precelular que puede imaginarse casi tan relevante como en las células contemporáneas, lo cual también ha sido puesto de manifiesto por Oparin en numerosas ocasiones (2,3,5,9,10,13,18,95) (*).

Con frecuencia se hace hincapié en las sales de hierro como agentes catalíticos prebiológicos dada su relativa abundancia en la corteza terrestre y sus propiedades químicas oxidorreductoras; Buvet, entre algunos, sugiere que los sulfuros de hierro fueron los precursores de las ferredoxinas (109). Estas sales ferrosas de azufre pudieron combinarse en el curso de la evolución posterior con algunos péptidos o proteínas y formar las primeras ferredoxinas (118, 119). Las ferredoxinas están ampliamente difundidas en el mundo vivo contemporáneo (**), tienen un bajo potencial rédox, participan en diversos procesos de transporte de electrones (fase luminosa de la fotosíntesis, fijación biológica del nitrógeno, reducción biológica de sulfatos, etc), que son de importancia -

(116) M. Calvin (1969), Chemical Evolution, Ed. Oxford University Press, Oxford, caps. 8 y 9.

(117) M. Eigen (1971), Naturwissenschaften, 58, 465-523.

(118) D.O. Hall, R. Comrack y K.K. Rao (1971), Nature, 233, 136-138.

(*) Véase también refs. (4) y (6).

(114) D.O. Hall, R. Comrack y K.K. Rao (1971), en: A. Schwartz, ed. (1971), op. y ed. cit. (104).

(**) En los mamíferos se encuentra la adrenodoxina que corresponde a una ferredoxina.

capital, están compuestas generalmente sólo por nueve aminoácidos distintos, - los cuales se obtienen fácilmente en condiciones abióticas simuladas y se les halla en algunos meteoritos carbonosos, todo lo cual hace pensar que las ferredoxinas son proteínas primitivas y que tuvieron una participación trascendental en el origen de los eubiontes (120). Estas ideas se han visto respaldadas por los estudios de bioquímica comparada y de análisis de la secuencia de aminoácidos de distintas ferredoxinas (121-123); así, se ha podido construir un árbol filogenético más o menos antisfectorio de estas proteínas (121-123). Se considera a las ferredoxinas encontradas en las bacterias del género Clostridium como las más primitivas actualmente, con un peso molecular promedio de 6000 y unos 55 residuos de aminoácidos, cuya secuencia hace pensar que resultaron de la duplicación de un gene original (118-123). Esto quiere decir que las ferredoxinas ancestrales tenían de 25 a 27 residuos de aminoácidos o quizá menos (124), lo cual puede hacernos pensar en la posibilidad de su síntesis abiótica mucho antes de la aparición de su codificación por algún ácido nucleico primitivo (v. infra, V, 3.3b).

Otro caso interesante en el cual el hierro puede considerarse del mismo modo importante lo constituye el posible origen y evolución de la catalasa, otra oxidoreductasa muy extendida en los seres vivos contemporáneos. Calvin ha estimado que las sales ferrosas pudieron funcionar, en fase acuosa, como precursores de la catalasa (116). Esta enzima cataliza la descomposición del peróxido de hidrógeno, H_2O_2 (agua oxigenada), produciendo agua y oxígeno.

-
- (120) M.A. Ragan y D.J. Chapman (1978), A Biochemical Phylogeny of the Protists, Ed. Academic Press, Nueva York, pp. 73-75.
(121) M.O. Dayhoff (1972), en: C. Ponnamparuma, ed. (1972), op. y ed. cit. (53), pp. 266-300.
(122) R.W. Eck y M.O. Dayhoff (1966), Science, 152, 363-366.
(123) M.O. Dayhoff, W.C. Baker y P.J. Mc Laughlin (1974), en: J.Oró, S.L. Miller et al. eds. (1974), op. y ed. cit. (8), vol. 1, p. 311-330.
(124) F. Lipman (1971), en: R. Buvet y C. Ponnamparuma, eds. (1971), op. y ed. cit. (15) pp. 381-391.

El sitio activo de la catalasa tiene un núcleo porfirínico con un átomo de hierro central (grupo hemo). Calvin supone que el átomo o, más bien, el ión ferroso que puede oxidarse y reducirse con toda facilidad en forma reversible, $Fe^{2+} \rightleftharpoons e^- + Fe^{3+}$, pudo funcionar en un principio como la enzima en cuestión. El ión férrico puede descomponer al peróxido pero a una velocidad muy inferior a la de la catalasa, experimentalmente calculada en 10^{-5} moles por unidad de tiempo. Al ser incorporado el ión férrico (Fe^{3+}), al núcleo de la porfirina el valor de la velocidad de la reacción referida se incrementa mil veces, de 10^{-5} a 10^{-2} , y al ser introducida la ferroporfirina a una cadena polipeptídica dicho valor se ve aún más incrementado, de 10^{-2} a 10^5 ; tal sería el caso de la catalasa (116,125). Así pues, en el curso de la evolución se fue constituyendo alrededor del ión férrico una estructura cada vez más complicada y más eficaz hasta formar un compuesto como la catalasa (116,125). Asimismo, destaca Calvin el papel que posiblemente desempeñó la autocatalisis o catalisis reflexiva como etapas importantes de la evolución química (116,125,126). La autocatalisis es un proceso en el cual una reacción química produce una sustancia que cataliza su propia formación (125); la misma producción de la ferroporfirina (grupo hemo), constituye un ejemplo de este proceso, pues el oxígeno producido por la reacción de descomposición del peróxido, catalizado por el grupo hemo, estimula a su vez la síntesis de más moléculas de porfirina. Como se sabe (supra, IV,4), la síntesis de porfirinas requiere la presencia de cierta cantidad de oxígeno, éste pudo provenir de la fotólisis del agua mediante la luz ultravioleta, que era más intensa y abundante sobre la superficie y la atmósfera terrestres de lo que es hoy, previa formación del peróxido de hidrógeno (*). Es por ello -

(125) M. Calvin (1975), Am. Scient., 63, 169-177

(126) M. Calvin (1974), La Recherche, 3 (41), 44-57.

(*) Calvin aclara que en este caso particular de la síntesis de porfirina cabría más hablar de catalisis reflexiva que de autocatalisis, porque el producto de este proceso no afecta directamente a la última reacción del proceso sino que da origen a uno de sus precursores (116).

factible que existieran diversas porfirinas, particularmente las férricas, en alguna etapa de la evolución química precedente a la aparición de las primeras estructuras vivientes.

Estos datos llevan a la conclusión de que los grupos funcionales de los sitios activos de algunas enzimas son prácticamente los mismos que aquéllos que catalizaban abióticamente la reacción en cuestión, por lo tanto, la evolución de la enzima consistió en la acumulación de material polipeptídico alrededor de esos grupos (hierro, sulfhidrilos, etc), cada vez mejor adaptados para ejercer su función catalítica (116,127). Estas enzimas primarias llegaron a un punto de su evolución formaron parte de sistemas más complejos y eficaces y fueron incorporadas a un sistema de control y regulación biosintética representado por los primeros ácidos nucleicos propiamente dichos.

Así pues, siguiendo este orden de ideas, "el metabolismo emergió de una serie de procesos que, a pesar de su carácter no enzimático, mostraban en germen las características esenciales de las vías metabólicas en lo que atañe al tipo de los procesos que están involucrados, las normas que regulan su intervención y el modo como ellas están acopladas" (128):

Naturalmente, no todos comparten el esquema teórico expuesto arriba. Ciertos científicos como Cairns-Smith creen que el metabolismo primitivo era más complejo que el actual porque en aquel existían un número más variado de sustancias y porque las reacciones químicas entre las mismas se caracterizaban por ser semi-catalíticas debido a la falta de un sistema de control adecuado (129). Así entonces, según esta hipótesis, el origen y la evolución del metabolismo se dieron por un verdadero proceso de substracción constante, el cual redujo ese

- (127) S.N. Salthe (1972), Evolutionary Biology, Ed. Holt, Reinhart & Winston, Nueva York, pp. 17-67.
(128) R. Buvet (1974), en: K.Dose, S.W. Fox, et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (21), pp 41-52.
(129) A.G. Cairns-Smith y G.L. Walker (1974), BioSystems, 5, 173-186.

carácter semi-caótico y, por lo tanto, la complejidad del sistema. Esto significa que no hay un proceso constructivo en la evolución del metabolismo como se piensa comúnmente (129).

Desde luego, este enfoque heterodoxo del problema merece algunos comentarios. Indudablemente, el meollo de esta cuestión gravita en torno al concepto de "complejidad" empleado por Cairns-Smith y Walker. Para estos científicos el concepto "complejo", está configurado por la condición semi-caótica de las reacciones químicas que prevalecieron tanto en la Tierra primitiva como en el metabolismo arcaico. Ahora bien, la calidad de semi-caótico está dada por la diversidad de las sustancias químicas participantes y por el desorden reinante en las reacciones químicas debido a la ausencia de un sistema regulador. De aceptarse esta simple concepción tendríamos que considerar al mundo inorgánico como más complejo que el mundo de los seres vivos y a la especie humana (con su sociedad), como la menos compleja de todas las criaturas existentes. Los autores aludidos confunden lo "complejo" con lo "diverso", por lo tanto, tienen una concepción puramente cuantitativa de la complejidad o; para decirlo en términos más precisos, tienen un concepto muy meccanicista del problema.

Ya en su oportunidad, Pirie (130) y Rutten (131), hicieron una clara distinción entre la complejidad y la diversidad químicas alrededor de la biogénesis. Pirie nos dice que al comienzo de la evolución química la Tierra primitiva estaba saturada de infinidad de sustancias químicas estructuralmente sencillas; luego, señala que esa diversidad y esa sencillez estructural se fueron reduciendo paulatinamente en el curso de la evolución química hasta llegar a -

(130) N.W. Pirie (1959), en: A.L. Oparin, y A.G. Pasynski et al., eds (1959), op. y ed. cit. (11), pp. 76-83.

(131) M.G. Rutten (1968), Aspectos Geológicos del Origen de la Vida sobre la Tierra, Ed. Alhambra, Madrid, pp. 149-150.

los primeros seres vivos, caracterizados por su uniformidad química y por su complejidad estructural (o morfológica) (130) y, por supuesto, funcional.

Otro enfoque que puede también juzgarse como heterodoxo acerca del origen del metabolismo, es el presentado por Hartman (132). En opinión de este investigador, la "hipótesis heterotrófica" de la biogénesis no es correcta porque, entre otras cosas, implica la existencia previa de un medio ambiente complejo, -presencia de biomoléculas y de biopolímeros sintetizados abióticamente, etc) (*), el cual no parece estar respaldado por las evidencias geoquímicas. Consecuentemente, Hartman propone una "hipótesis autotrófica" del origen de la vida y no vacila en aceptar la idea original de Cairns-Smith (133), de "que las partículas de arcilla fueron los primeros organismos". Así pues, Hartman considera que tanto el ambiente y los primeros organismos eran simples. Durante el desarrollo de los primeros organismos simples (arcillas), se irían sintetizando poco a poco los distintos compuestos orgánicos gracias a las grandes capacidades de las arcillas para adsorber, catalizar y proteger de la radiación U.V., a las sustancias orgánicas más diversas (v. supra, IV, 3.2c), además de servir como verdaderas plantillas ("código genético") (133), en la síntesis de algunos biopolímeros, en particular los péptidos (supra, IV 3.2c); todo ello con el concurso de la luz U.V., de iones metálicos como el Fe^{++} , Co^{++} , y el Mn^{+2} , $+3,6+6$, de disulfuros (-S-S), de ditiolos (-SHHS-) y del ión cianuro (CN^-) en presencia del CO_2 y del H_2 como gases atmosféricos (132). Tomando como criterio evolutivo la simple superposición mecánica de sustancias y de reacciones químicas, Hartman nos describe el desarrollo del metabolismo. La forma como el referido autor nos plantea el asunto nos recuerda vagamente aquella grotesca "ley biogénica".

(132) H. Hartman (1975), J. Mol. Evol., 4, 359-370.

(*) Hartman llega incluso a hablar del "mito de la sopa prebiótica" (131).

(133) A.G. Cairns-Smith (1965), J. Theor. Biol. 10, 53-88.

Huelga insistir en que la hipótesis de Hartman está enclavada en una concepción mecanicista de la vida, que confunde todos los planos: el físico, el químico y el biológico (v. supra, V, 3.1), y que lejos de abrir el camino a la solución científica del problema, lo cierra.

3.3b ORIGEN DEL CODIGO GENETICO

Indisolublemente ligado al origen del metabolismo está el origen del código genético; en realidad, no es posible concebir el metabolismo actual sin el código correspondiente que dirige y regula la síntesis de las enzimas. Como se sabe, el código genético es un complejísimo sistema de interacciones de ácidos nucleicos (ADN y ARN), y proteínas, el cual se denota como un producto altamente refinado de la evolución; sin este sistema la vida sobre la Tierra jamás habría podido desarrollarse. En tal virtud, resulta demasiado difícil entender o explicar el origen del código genético; de ahí el gran número de teorías y especulaciones acerca de su génesis. Realmente en este terreno es donde encontramos el mayor número de especulaciones.

¿Cuál fue el origen del binomio funcional ácido nucleico-proteína?
¿Cómo llegó el ADN a ser la base química del gen? Tratar este problema en un espacio tan reducido es imposible pues merece un trabajo especial. En consecuencia, sólo se tratará aquí lo más relevante y de manera superficial.

Hacia mediados de los años cincuenta de este siglo Jonh D. Bernal planteó el problema de la precedencia del ácido nucleico o la proteína (*). Desde entonces se ha tomado a este planteamiento como la formulación a nivel molecular de aquel añejo problema del huevo y la gallina. Cualquier persona con conocimientos elementales de biología sabe que la famosa cuestión del huevo y -

(*) Citado por Oparin, op. cit. (5), p. 227.

la gallina está mal planteado porque pasa por alto el aspecto histórico del mismo, todo lo cual conduce a un verdadero círculo vicioso. Sólo recurriendo a la teoría de la evolución podemos plantear correctamente el problema y resolverlo, de otra forma también podríamos hacer una pregunta tan torpe como la siguiente: ¿qué fue primero, el niño o el hombre adulto?

Igual que en el caso de la gallina, si nosotros hacemos abstracción del tiempo en el caso de la interacción ácido nucleico-proteína, caeremos en un círculo vicioso que no nos conducirá a ninguna parte, pues toda enzima requiere para su biosíntesis de una plantilla de ADN y éste a su vez necesita por fuerza de enzimas para su replicación. En consecuencia, es razonable pensar que la solución a nuestro problema radica en emplear una metodología semejante a la de la gallina y el huevo, sólo que en ese caso nos topamos con cientos de dificultades, pues carecemos de un registro fósil y el criterio morfológico no nos sirve en lo absoluto. Es por estas razones que abundan las conjeturas de todo tipo sobre el origen del sistema genético y no existe ningún acuerdo todavía entre los científicos. Pero el problema se agrava aún más porque nisiquiera hay un acuerdo conceptual entre los especialistas del campo, lo cual no debe de extrañarnos por la índole del asunto, profundamente enraizado en la problemática ideológica (v. supra, II, III y V, 3.1).

De lo anterior se desprende que el enfoque de la cuestión acerca del origen del código genético tiene que ser evolutivo pero que su problemática es muy particular y sumamente complicada; en primer lugar, porque nos encontramos en la frontera entre la evolución química y la evolución biológica propiamente dichas, es decir; en el salto dialéctico que va de lo prebiológico a lo biológico en sentido estricto.

Antes de abordar el problema de manera más concreta, es forzoso hacer algunos señalamientos pertinentes.

El aparato genético comprende en realidad dos aspectos: el código propiamente dicho (serie de señales químicas o codones establecidos en la secuencia de nucleótidos), y el sistema de traducción (ARNt, ribosomas, enzimas activadoras, condensantes, etc). (134).

Los puntos anteriores están en completa congruencia con la noción de metabolismo pre-enzimático (*supra*, V,3.3a), lo cual quiere decir que la interacción ácido nucleico-enzima surgió posteriormente. Oparin ha señalado que en los protobiontes se presentó desde etapas tempranas de su desarrollo, algunos tipos de acciones mutuas entre diversos polipéptidos y polinucleótidos pero de manera muy irregular e inespecífica (5,9,10,96). El desarrollo evolutivo de los protobiontes como un todo incrementó esas interacciones haciéndolas cada vez más específicas y complejas hasta desembocar en un sistema semejante al que hoy ostentan los sistemas vivientes (5,9,10,96).

El enfoque de Oparin manifiesta una coevolución entre los ácidos nucleicos y las proteínas ancestrales y, aunque es muy general, puede tomarse como un marco de referencia para la exposición breve de algunas teorías sobre el código genético, similares o distintas a las de Oparin.

Dos grandes enfoques distintos a los de Oparin y contrarios entre sí, son aquéllos que sostienen la prioridad de las proteínas o de los ácidos nucleicos. Así, se habla de "vida sin ácidos nucleicos" y de "vida sin proteínas". Cada uno de estos enfoques teóricos presentan diversos matices y algunos tienen cierto respaldo experimental aunque precario.

El representante más destacado de lo que podría llamarse "vida sin ácidos nucleicos" es S.W. Fox. Basado en sus múltiples experimentos con los

(134) C.R. Woese (1972), en: C. Ponnampertuna, ed. (1972), op. y ed. cit. (53) pp. 301-341.

proteínoides térmicos y sus microesferas, Fox y su grupo, aseguran que las primeras formas de vida estaban integradas de manera fundamental por proteínoides (supra, IV,3.2a y V, 2.2) y que aun sus mecanismos de replicación o hereditarios estaban presididos por esas substancias poliméricas (24,32,44-47,135); por lo tanto, sostienen que los mecanismos dirigidos por los ácidos nucleicos se originaron después, como un refinamiento de los primeros procesos, más simples, de reproducción efectuados por las protocélulas proteínoides (24,32,44). Así pues, de acuerdo con estos científicos "debido a que la evolución ejerce las presiones de selección sobre la función y ya que la vasta mayoría de las funciones bioquímicas reside en las proteínas, la selección natural requirió moléculas semejantes a proteínas antes de requerir a los ácidos nucleicos (...) Sin ácidos nucleicos, una célula proteínácea pudo haber llegado a existir y a replicarse a través de eones (*) pasando cada generación a su descendencia la información respectiva" (135).

Con el fin de apuntalar esta línea de ideas, Fox y sus colaboradores, han realizado diversos experimentos con nucleótidos y polinucleótidos y sus proteínoides. En estos ensayos de laboratorio, los referidos investigadores emplean proteínoides de carácter alcalino (ricos en lisina, por ejemplo), tratando de imitar algunas características de las histonas (24,25,40,41,135). De este modo se obtienen complejos moleculares de tipo nucleoproteína cuya organización se desconoce. (supra, V,2.2, pág. 272).

Resumiendo, el equipo de científicos encabezados por Fox señalan, que el flujo de información durante la evolución prebiológica, hasta la apari-

(135) J.C. Lacey y S.W. Fox (1971), en: A. Schwartz, ed. (1971), op. y ed. cit. (105), vol. 2, pp. 23.-66.

(*) Un eón es una unidad de tiempo utilizada con cierta frecuencia por los paleontólogos y los geólogos que equivale a mil millones de años.

ción del aparato genético, fué así:

Medio ambiente prebiótico → protoproteína → proteína → ARN → ADN.

Las objeciones a la teoría de Fox son del mismo orden que las relativas a sus protocélulas (supra, V.2.2); el enfoque es demasiado fenomenológico e incompleto .

Una apreciación teórica más completa y convincente, desde el punto de vista experimental, de la preeminencia de las proteínas sobre los ácidos nucleicos como reguladores del metabolismo y la aparición de las enzimas, lo constituyen los trabajos de Steinman y otros como Calvin y Kenyon.

La idea básica sobre la que están cifrados los experimentos de Steinman y sus colegas es la de que no es forzosamente necesaria la presencia de una plantilla para lograr un ordenamiento determinado en los residuos de aminoácidos de un péptido (50,116). De esto se desprende que las primeras enzimas (protoenzimas) surgieron sin mediar en sus síntesis ningún polinucleótido o ácido nucleico (50,116).

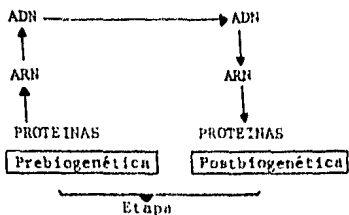
Algunos de los experimentos vinculados con el problema ya han sido citados (v. supra, IV, 3.2b, tabla No. 10). Otro experimento interesante en relación al origen de la actividad enzimática, consistió en tratar de reproducir abióticamente la generación de una porción del sitio activo de alguna enzima, como la quimotripsina. El sitio activo de esa enzima tiene los residuos α -aspartil-serina; este dipéptido fue obtenido con mayor rendimiento cuando se empleó N,N-dimetilformamida que cuando se empleaban solamente glicina, ácido aspártico y dicianamida (como agente condensante; v. supra, IV, 3.2b) (50,136). To

(135) M.N. Cole y G. Steinman (1967), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 58, 735-742.

mando en consideración que todo enlace peptídico es en rigor un enlace amídico, tal como la N,N-dimetilformamida, y considerando, además que es ese tipo de - enlace al que ataca una enzima como la quimotripsina, hidrolizándolo y resulta que el dipéptido que forma una porción de su sitio activo pudo sintetizarse gracias al concurso de un sustrato potencial (la dimetilformamida), Steinman y - Cole (136) proponen que algunas protoenzimas pudieron haberse formado gracias a la acción catalítica de sus sustratos potenciales; o sea que, tomando el mo delo clásico de la cerradura (enzima) y la llave (sustrato), la cerradura se habría fabricado en torno a la llave (50,136,137).

Naturalmente, de experimentos como el anterior no puede concluirse que ese haya sido el mecanismo principal de producción de proteínas catalíticas por primera ocasión, pero, a no dudar, habla en favor de la teoría de la vida arcaica basada exclusivamente (o casi) en proteínas, o mejor dicho, en protoproteínas, y carentes de ácidos nucleicos o polinucleótidos.

En virtud de experiencias como la anterior, Steinman propone el siguiente esquema hipotético de la evolución, desde los protobiontes hasta los eubiontes contemporáneos (137).



Así entonces, las proteínas (protoenzimas), allanaron el camino para la aparición de - los primeros polinucleótidos que evolucionaron hasta el origen de las primeras moléculas de ARN y luego a las de ADN; a partir de ese momento, el ADN comenzó a controlar todo el sistema de manera creciente y acelerada invirtiendo el proceso en la forma

(137) G. Steinman (1971), en: A.P. Kimball y J. Oro eds. (1971), op. y ed. cit. (18), pp. 31-38.

como hoy lo conocemos, llegando a ser la molécula que porta la clave genética - que regula y determina la biosíntesis de enzimas (etapa postbiogénica).

Sin lugar a dudas, el apoyo más grande que han encontrado estas apreciaciones ha sido el descubrimiento de Lipman, a principios de esta década, de la síntesis de decapeptidos, como la gramicidina-S y la tirocidina, en la bacteria, Bacillus brevis, en ausencia total de una plantilla de ácido nucleico - (138-141). Este proceso se lleva a cabo en presencia de enzimas que forman con los aminoácidos activados, algunos de la serie D (como la D-fenilalanina), aminoaciltransferasas (138-142). En este proceso las enzimas (un sistema polienzimático, en realidad) funcionan como plantillas. Estos hechos han sido interpretados como la evidencia de rasgos vestigiales de un metabolismo primitivo en el cual los ácidos nucleicos no tenían participación (138-141).

A veces se alude también en apoyo a estas hipótesis el descubrimiento del agente causante del Scrapie, enfermedad que ataca a las ovejas (143). Al parecer, se trata de un "microorganismo" de tamaño algo menor que los virus al cual no le afectan las radiaciones ultravioletas que destruyen tanto a virus como a bacterias. Estas características además de otras de carácter fisicoquímico parecen evidenciar que se trata de un "microorganismo" que está desprovisto de ácidos nucleicos y, sin embargo, es capaz de reproducirse en el interior de las células del huésped (143, 144). No obstante, no se ha podido identificar

(138) F. Lipmann (1971), en: R. Buvet y C. Ponnampurama, eds. (1971), op. y ed. cit. (15), pp. 381-391.

(139) F. Lipmann (1971), Science, 173, 875-884.

(140) F. Lipmann (1972), en: D.L. Rohlfin y A.L. Oparin, eds (1972), op. y ed. cit. (7), pp. 261-269.

(141) F. Lipmann (1974) en: K. Doe, S.W. Fox et al eds. (1974), op. y ed. cit. (21), pp. 321-330.

(142) S.G. Laland, Ø. Frøyshov, C. Gilhuus-Moe y T.L. Zimmer (1972), New Biol., 239, 43-44.

(143) I.H. Pattison (1967), Science Jour., 3 (3), 75-81.

(144) R.A. Gibbons y G.D. Hunter (1967), Nature, 215, 1041-1043.

con precisión ese agente y algunos piensan que puede tratarse de algún tipo de "viroide", es decir, de un agente viral muy simple y muy difícil de aislar (145)

Aunque las concepciones expuestas más arriba parecen tener un respaldo de substancial en la experiencia y en la teoría evolutiva, y reafirman la convicción de no pocos científicos como Calvin (114), Buvet (109), y Ehrens-vård (146), en el sentido de que el código genético apareció posteriormente en la evolución de los primeros seres vivos (protobiontes), no dejan de estar vulnerables a objeciones; la más fuerte es que no se conoce ningún caso en el cual un polipéptido o una proteína sirva de plantilla para su propia replicación y que no hay evidencia de un flujo de información inverso, es decir, en el sentido: proteína → ARN → ADN, tal como lo expresa el llamado "dogma central de la Biología Molecular" (147).

Independientemente de los señalamientos derivados de las tesis y experiencias de las escuelas que conciben una "vida sin ácidos nucleicos", queda todavía en pie nuestro problema planteado al principio de este inciso.

Los adeptos a la idea de la "vida sin proteínas", que se encuentran directamente vinculados con las ideas del "gene desnudo" o de la "molécula viviente", han intentado responder a la cuestión del origen del código y del mecanismo de traducción actuales, proponiendo diversos esquemas. En términos generales, los representantes de este modo de pensar están dominados, en menor o mayor grado, por enfoques casualistas en algunas cuestiones nodales; empero, también han presentado algunos mecanismos de evolución del código y del aparato de biosíntesis proteica.

Crick ha señalado respecto al código genético, es decir, la corres-

(145) T.O. Diener (1972), New Biol., 235, 216-219.

(146) G. Ehrens-vård (1962), Life: Origin and Development, Ed. University of Chicago Press, Chicago, pp. 138-146.

(147) F.H.C. Crick (1970), Nature, 222, 561-563.

pendencia entre las estructuras primarias de los ácidos nucleicos y las proteínas, que no es posible explicarse su origen más que recurriendo a la asociación aleatoria de los tripletes de nucleótidos con los aminoácidos pues no existe ninguna relación directa, estereoquímica o de otro tipo, que pudiera invocarse para revelarlo (148); esto podría, en gran parte, esclarecer la universalidad del código y su constancia. En congruencia con lo anterior, Crick opina que dicho código es el producto de un "accidente congelado" (148). Estas apreciaciones están en concordancia con el principio de continuidad definido por Orgel (149). Tal concordancia se expresa mejor en la idea original de Crick acerca de la signación en tripletes (codones), del actual sistema de codificación, el cual no pudo ser en el pasado escrita en dobletes porque al incluirse en algún momento el tercer nucleótido en el código primitivo se rompería toda continuidad y sería desastroso para la propia célula (147). Recientemente, Crick ha hecho algunas modificaciones a sus ideas originales (150), siguiendo un esquema propuesto por Woese (151); entre esas modificaciones destaca su propuesta del traslape parcial de un quintuplete sobre el triplete durante el proceso de traducción que quizá existe todavía en el mecanismo actual (150). Esto no quiere decir que el código original fuera distinto al de tripletes, sólo se trataría de un fenómeno involucrado en la propia dinámica del proceso. Por otra parte, Crick acepta que en el inicio de la vida existieron ciertas interacciones, posiblemente estereoquímicas, entre algunos aminoácidos y las moléculas del Proto-ARNt, sin que en esto tuvieran intervención los anticodones (148-150).

Woese es quien plantea un esquema teórico menos aleatorio dentro de la corriente de la "vida sin proteínas". El estima que la clave en la evolución del código genético radica en la evolución del mecanismo traductor; así, nos propone un sistema de traducción primitivo (biosíntesis de proteínas), inte-

(148) F.H.C. Crick (1968), J. Mol. Biol., **38**, 367-379.

(149) L.R. Orgel (1968), J. Mol. Biol., **38**, 381-393.

(150) F.H.C. Crick, S. Brenner, A. Klug, y G. Pieczanik (1976), Origins of Life, **7**, 389-397.

(151) C.R. Woese (1972), en: C. Pennamparuma ed. (1972), op. y ed. cit. (53) pp. 301-341.

grado de por lo menos dos moléculas de Proto-ARNi y una de ARNm (ARN mensajero), cuyos orígenes no son explicados (151,152). Las moléculas de ARNi se complementarían funcionalmente tomándolas como moléculas dinámicas y no estáticas como se las concibe actualmente (151,152). Woese señala que el principal obstáculo para comprender la evolución del proceso de traducción radica en el hecho de que se desconoce todavía cómo funciona en la actualidad, por lo tanto, una conjetura plausible al respecto resulta más difícil y es ineludible principiar con una "tabla rasa", es decir, en cero (151, 152).

La hipótesis de Woese explica que los primeros ácidos nucleicos involucrados en la traducción, no podían distinguir claramente entre los distintos aminoácidos, por consiguiente, los codones originales tenían designaciones correspondientes a grupos de aminoácidos, es decir, ciertos grupos de aminoácidos con propiedades semejantes estarían asignados a determinados grupos de codones. Las proteínas obtenidas por un proceso de esa clase serían "proteínas estadísticas" (151-152), o sea, proteínas sin la especificidad biológica que hoy ostentan. Esta etapa de la evolución del aparato traductor estaría caracterizada, consecuentemente, por una etapa de ambigüedad. Las etapas siguientes (Woese propone dos más), estarían representadas por un paulatino proceso de perfeccionamiento o refinamiento que reduciría la ambigüedad de la traducción (o "ruido"); así entonces, el grupo de aminoácidos apenas reconocible por el grupo de codones original, disminuiría a subgrupos y finalmente a la etapa actual caracterizada por un aparato de traducción altamente discriminativo (151-153). El proceso de evolución planteado por el referido investigador, implica la participación del mecanismo de la "fluctuación" o "bamboleo" en la traducción del mensaje genético (hipótesis del "Wobble"), sugerido por Crick (154).

(152) C.R. Woese (1973), Naturwiss, 60, 447-459.

(153) C.R. Woese (1969), J. Mol. Biol., 43, 235-240.

(154) F.H.C. Crick (1966), J.Mol. Biol., 19, 548-555. Véanse también ref. (148, 149).

Una concepción más aleatoria del origen del código genético (y de luego del mecanismo traductor), está expresada en Orgel (66,149), Miller (66), y sobre todo en Sonneborn (155).

Otras teorías recientemente publicadas sobre el problema que nos ocupa son las de Lacey, Pruitt, y Mullins (156,157), y la de Black (158). Puede decirse que dichas teorías se ubican más o menos entre las expuestas en los párrafos de este inciso y hablan de una coevolución de péptidos y polinucleótidos.

Postulando mecanismos de interacción estereoquímicos, Lacey y Pruitt (156), sugieren que los proceso de transferencia de información (traducción), pudieron establecerse a través de interacciones entre mononucleótidos y un polipéptido, donde la estructura de la hélice- α serviría como una plantilla (prototipo), de tal manera que se obtendría, primero, un complejo de moléculas de mononucleótidos acomodados en los "huecos" de la hélice- α y luego la formación de enlaces que darían lugar a un polinucleótido (156). Lacey y Mullins plantean una teoría muy parecida, pero más inclinada a las ideas de la "vida sin ácidos nucleicos" (157).

Black también ha hecho hincapié en la forzosa interacción entre los nucleótidos y los aminoácidos o los péptidos, pues sólo de ese modo, indica el autor de esta idea, se puede explicar el tránsito entre el método directo de traducción del código genético (sistema primitivo), y el actual, que es indirecto (158). Según Black, los enlaces débiles, como los determinados por interacciones de van der Waals y los puentes de hidrógeno, serían de gran relevancia - en este contexto. Así, por ejemplo, es posible que se establecieran enlaces por puente de hidrógeno entre algunas bases como el uracilo y los oxígenos de los

(155) Citado por C.R. Woese (151-153).

(156) J.C. Lacey y K. M. Pruitt (1969), Nature, 223, 799-804.

(157) J.C. Lacey y D.W. Mullins (1972), en: D.L. Rohlfing y A.I. Oparin, eds (1972), op. y ed. cit. (7), pp. 171-188.

(158) S. Black (1973), en: A. Meister, ed. (1973), op. y ed. cit. (12), vol. 38, pp. 193-234.

carbonilos y los nitrógenos de los enlaces peptídicos; si el uracilo llevara - unidos por el extremo del carbono-5 de su anillo a otro aminoácido (fenilalanina, por ejemplo), se podría llevar a cabo algún enlace ocasional entre él y la cadena peptídica. El código en tripletes se pudo originar por un mecanismo similar acomodándose a lo largo de la hélice. Las bases púricas o pirimídicas, calculándose la posibilidad de acoplar, por puentes de hidrógeno, a tres bases nitrogenadas por cada vuelta de la hélice del péptido (158).

Existen experimentos que demuestran algunas interacciones entre los aminoácidos y los nucleótidos y entre sus respectivos oligómeros o polímeros (159, 160). Son dignos de mencionarse, entre otros, los trabajos de Saxinger y Ponnampuruma, quienes lograron evidenciar cierta selectividad en diversas reacciones de aminoácidos y péptidos con nucleótidos y oligonucleótidos; dichas propiedades discriminativas parecen determinadas por la composición química (tipo de bases nitrogenadas, cadenas laterales de los aminoácidos, etc.), la conformación molecular, el grado de polimerización y las condiciones del medio de los reactivos en cuestión (161,162). Estos científicos, asimismo, advirtieron algunas similitudes con el ordenamiento de aminoácidos establecido por los tripletes de ciertos codones - (161,162). Empero, no se ha podido aún determinar la naturaleza de esas interacciones (162).

Recientemente Ronald Wetzel indica la necesidad de recabar toda la información pertinente de la Biología Molecular para proponer hipótesis más aceptables acerca del origen y evolución del aparato genético (163). Este investigador piensa que la clave para despejar esta compleja incógnita se encuentra en un estudio comparativo cuidadoso de las sintetasas del aminoacil-ARNt, ya que dichas en-

(159) A. Yuki y S.W. Fox (1969), Biochem. Biophys. Res. Com., 36, 657-663. Ver también refs. (24), (40), (41) y (135).

(160) A.L. Weber, J.M. Caroon, J.T. Warden, R.M. Lennon y M. Calvin (1977), BioSystems, 8, 276-286.

(161) C. Saxinger y C. Ponnampuruma (1971), J. Mol. Biol., 1, 63-73.

(162) C. Saxinger y C. Ponnampuruma (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (8), vol. 1, pp. 189-200.

zimas están firmemente enlazadas a la historia del código puesto que son intermedias (junto con el ARNt), entre los aminoácidos y el ordenamiento de los codones. Esto puede lograrse, a juicio del aludido autor, gracias a la gran cantidad de información acumulada sobre el particular en los últimos cinco años (163). La base de esta convicción se asienta en los recientes hallazgos de homología entre muy diversas moléculas proteínicas, entre las que se cuentan algunas aminoacil-ARNt-sintetasas. Esto permite el establecimiento de familias de enzimas que hacen pensar en un origen común (v. supra, 3.3a). Relacionando la estructura primaria de esas enzimas con los codones que programan los respectivos aminoácidos que componen dicha estructura es posible, en principio, deducir de manera aproximada el tipo de códigos ancestrales. El esquema que Wetzel propone para la evolución del aparato genético consistiría man o menos de dos etapas, a saber: 1) el primer código genético estaría restringido a 16 tripletes únicamente, lo cual implica que el número de ARNt también estaría disminuido y el número de aminoácidos programables sería suficiente aunque mínimo. 2) Después, serían eliminadas algunas restricciones con la aparición de nuevos codones sobre la plantilla original del ARNm (mensajero), los codones "sin sentido" producidas por duplicación de las mismas cuyos anticodones hubieran mutado más tarde; así se generaría un código de 32 tripletes (163). Al principio, nos dice Wetzel, los ARNt nuevos serían cargados con aminoácidos por medio de las mismas enzimas (sintetasas del aminoacil-ARNt). Si, por otra parte, fueran disponibles nuevos aminoácidos y si el gene original de alguna sintetasa mutara formando una enzima nueva específica para dicho aminoácido, esta enzima recién sintetizada podría substituir ventajosamente a la enzima materna (163). De este modo se generaría un código de 64 tripletes como el que conocemos por medio de un proceso de dos etapas, primero creándose nuevos ARNt en correspondencia a los nuevos codones y, luego, formándose nuevas enzimas que aprovechan la

(163) K. Wetzel (1978), Origin of Life, 9, 39-50.

ventaja del aumento de número de ARNt y de aminoácidos disponibles (163).

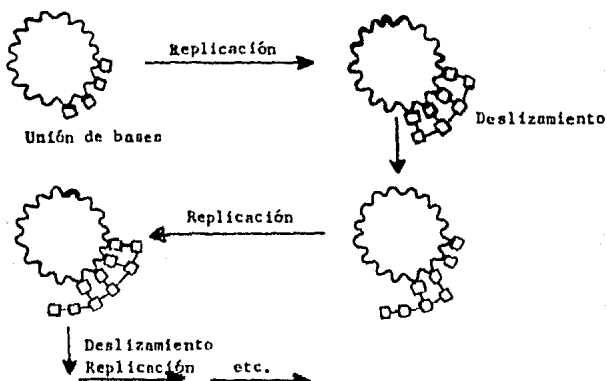
Una de las cuestiones que muy a menudo se plantean respecto al origen y evolución de la clave genética es la de qué tipo de péptidos serían los primeros producidos por los ácidos nucleicos o polinucleótidos iniciales. Orgel ha sugerido que los ácidos nucleicos prístinos estaban integrados por nucleótidos con bases púricas y pirimidicas alternadas, lo cual les daba mayor estabilidad, por lo tanto, sería factible que este tipo de protogenes produjeran polipéptidos con residuos de aminoácidos hidrófobos (valina, leucina, isoleucina, fenilalanina y metionina) e hidrófilos (ácidos aspártico y glutámico, lisina, histidina y tirosina), por lo que sería de esperar que estos polipéptidos presentaran una estructura laminar β (164,165): un ejemplo de tales substancias podría ser el polímero alternante de valina y lisina, Pol-(val-Lys) (165). Estos polímeros podrían desempeñar un papel importante en la formación de estructuras membranosas en las protocélulas. Así entonces, según Orgel y sus colaboradores, las primeras versiones del código genético tendrían una base conformacional y las etapas sucesivas de su desarrollo pudieron conducir al control de los cambios de la estructura β (164,165).

Otra cuestión dentro de esta problemática es la del origen de la replicación (v. supra IV, 3.3): ¿cuál sería la primera molécula de ácido nucleico capaz de replicarse? Orgel y sus asociados, al igual que otros equipos de investigadores, intentan desarrollar un polinucleótido con un mínimo de nucleótidos capaz de servir de plantilla para la replicación en ausencia de enzimas (supra, IV,3.3). Oro y Stephen-Sherwood presentan un modelo basado en otro propuesto por Chamberlin y Berg en 1962, con el cual se pretende explicar un mecanismo de

(164) L.E. Orgel (1975), Int. Jour. Chem., 14, 11-16.

(165) A. Brack y L.E. Orgel (1975), Nature, 256, 383-387.

replicación primitivo, y a su vez, de alargamiento del polinucleótido resultante a partir del precursor. De acuerdo con esta conjetura la molécula precursora tenía una estructura cíclica o anular, compuesta por 12 ó más residuos de nucleótidos (166). Esta molécula podría duplicarse por un proceso que recuerda vagamente al del ADN de Escherichia coli. Los nucleótidos podrían unirse a los correspondientes de la cadena circular de acuerdo con la regla de apareamiento de bases púricas y pirimídicas de Watson y Crick. Durante este proceso podría suceder un deslizamiento de los nucleótidos apareados por efecto de leves fluctuaciones ambientales (como la temperatura) (166), y esto permitiría la formación, en ocasiones, de moléculas con mayor número de residuos monoméricos, tal como se ilustra en el siguiente esquema (166) :



Hasta el momento se ha podido sintetizar polinucleótidos con 17 ó 18 residuos capaces de adoptar una forma circular (166), pero tales moléculas no han sido producidas bajo condiciones muy acordes con las presumibles antes de la aparición de la vida sobre la Tierra; sin embargo, el modelo no deja de ser tentador.

Como ha podido advertirse, son muchos y variados los intentos para

(166) J. Oró y E. Stephen-Sherwood (1974), en: J.Oró, S.L.Miller et al, eds. (1974), op. y ed. cit. (8), vol. 1, pp. 159-172.

dar una explicación racional al origen de la clave genética. Sin embargo, de un examen cuidadoso de varias teorías expuestas es posible extraer un consenso general sobre algunas cuestiones esenciales que tácita o explícitamente se hallan contenidas en ellas. En primer lugar, la mayoría coincide en un modelo de expansión y refinamiento del vocabulario del código genético primitivo que era impreciso, ambiguo y reducido. En segundo lugar, casi todos afirman que el código siempre estuvo cifrado en triplete (codones). En tercer lugar, de una u otra manera, se admite que el primer código genético emergió a partir de las interacciones diversas (estereoquímicas, polares, etc), directas e irregulares o un tanto caóticas, entre polinucleótidos y péptidos, y aún entre aminoácidos y nucleótidos, sintetizados de modo totalmente abiótico. Por último, se considera que el aparato genético arcaico estaba representado por alguna molécula constituida por nucleótidos de ribosa, es decir, una especie de ARN; el ADN primitivo apareció tiempo después.

Es claro que el problema fundamental gravita en los detalles de cada uno de los planteamientos para explicar el origen del sistema genético y es en ellos donde se expresan la mayor parte de las discrepancias a los puntos de vista. Hay intentos de todo tipo, algunos muy elaborados y formalizados como es el caso del trabajo ya clásico de Manfred Eigen (117,167), basado en la termodinámica de los procesos irreversibles, la mecánica estadística, la teoría de la información y la teoría de los juegos; o como el de Ratner y Batchinsky basado en la cibernética (168). Las dificultades del problema son tantas que no han faltado las salidas fáciles o burdamente mecanicistas que en realidad no resuelven nada. Me refiero aquí a las ideas de la panespermia que aún subsisten hoy día entre algunos científicos como Crick y Orgel (169), y como Brooks y Shaw (170). Los pri-

(167) M. Eigen (1973), en: J. Mehra, ed. (1973), The Physicist's Conception of Nature, ed. Reidel, Dordrecht, pp. 594-632.

(168) V.A. Ratner y A.G. Batchinsky (1976), Origins of Life, 7, 225-228 y 229-233.

(169) F.H.C. Crick y L.E. Orgel (1973), ICARUS, 12, 341-346.

(170) J. Brooks y G. Shaw (1973), Origin and Development of Living Systems, ed. Academic Press, Nueva York, pp. 353-355.

mos han acuñado el término "panspermia dirigida" para explicar la universalidad del código genético y la presencia de elementos raros, como el molibdeno, en los seres vivos. Crick y Orgel advierten que su teoría no evade el problema como erróneamente se cree porque la vida pudo haberse generado en otro tipo de planetas en los cuales la probabilidad del inicio de la vida fuera mucho más grande que en nuestro propio planeta. La vida, en un planeta de ese tipo, podría desarrollarse hasta alcanzar formas altamente evolucionadas como la especie humana, la que podría, a su vez, lograr un enorme avance social y tecnológico. Dicha sociedad altamente tecnificada podría deliberadamente enviar a nuestro planeta una forma de vida primitiva a partir de la cual derivarían las formas actuales.

Esta fachada barroca de la nueva teoría de la panspermia no la libera de su viejo e inseparable defecto, a saber: elude de cualquier manera el problema en cuestión y plantea soluciones mágicas que quieren aparentar un rigor científico que están lejos de alcanzar. La fachada encierra en verdad un creacionismo de nuevo cuño que se expresa con toda claridad en las palabras de Brooks y Shaw, - quienes han formulado ideas en esencia idénticas a las de Crick y Orgel (170). Así, Brooks y Shaw declaran que "el sistema vivo pudo haber sido deliberadamente introducido a la Tierra hace mucho tiempo y por razones que no están claras, a través de un viajero del espacio ya desaparecido" (170); a continuación no tienen empacho en afirmar: "El sistema vivo puede ser realmente una auténtica máquina: una máquina que fue manufacturada en algún laboratorio extraterrestre con algún propósito específico e introducido a nuestro planeta por accidente o expreso. No hay una razón particular por la cual no pudiéramos considerarnos a nosotros mismos, aún ahora, como una forma complicada de un robot" (1) (2). No es necesario abundar más en el asunto, simplemente se substituye al creador o dios omnipotente por una civilización altamente tecnificada que fabrica unas máquinas

(2) El Subrayado es mío.

("seres vivos"), y los envía a la Tierra o a cualquier otro planeta, ¿con qué fin?, no hay manera de saberlo, ciertamente el hecho es que así sucedió. Estos son, en verdad, argumentos que los dogmas religiosos han manejado durante miles de años, ¿alguien puede decir con certeza por qué dios creo al mundo y a los seres vivos y por qué los hizo así y no de otro modo?. Esta es una prueba más que palpable de la caída del mecanicismo en el vitalismo clásico. Ahora bien, no quiero decir con lo expuesto arriba que Crick y Orgel compartan plenamente las opiniones de Brooks y Shaw, pero ya colocados en esta línea de pensamiento ¿qué garantías tenemos de que no la lleven hasta sus últimas consecuencias?

Por último, cabe mencionar las ideas sobre el origen del código genético emitidas por Cairns-Smith, a las cuales se ha hecho referencia antes de manera colateral (supra IV. 3.2C y V. 3.3a). Dicho científico ha venido manteniendo, desde 1965, la tesis de que las formas más primitivas de vida fueron los cristales inorgánicos, principalmente de silicatos (67,133,171-173)^(*); estos materiales cristalinos también serían los primeros genes. Cairns-Smith tomó esas sustancias como modelos por la extraordinaria exactitud con que se replican y crecen, y también porque ocasionalmente pueden presentar errores de cristalización que son reproducibles con fidelidad, todo lo cual es parangonado con las propiedades del gene o el ADN, a saber, su estructura ordenada, su capacidad autocatalítica y su facultad para mutar en ocasiones (67,133,171) (**). Por consiguiente, sostiene el aludido expositor, este problema puede considerarse totalmente como un problema de evolución más que de origen(171).

(171) A.G. Cairns-Smith (1968), en: C.H. Waddington, ed. (1968), Towards a Theoretical Biology, Prolegomena, ed. Aldine Publ. Co., Edimburgo, pp. 57-66.

Hay edición española de esta obra por Alianza Universidad, Madrid, 1977.

(172) A.G. Cairns-Smith (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds. (1974) op. y ed. cit. (8), vol. 2, pp. 265-267.

(173) A.G. Cairns-Smith (1974), en: K. Dose, S.W. Fox et al. eds. (1974), op. y ed. cit. (21) pp. 53-58.

(*) Véase también ref. (129).

(**) Estas consideraciones recuerdan en términos generales a las expresadas en su oportunidad por Schrödinger (v. supra, III 4.2a).

Cairns-Smith justifica su teoría argumentando que no es posible concebir un gene primordial compuesto de una substancia tan compleja como un ácido nucleico o un polinucleótido (por más sencillo que se le imagine), surgido abióticamente en un medio tan simple, como sería la Tierra antes de la aparición de los seres organizados, y al mismo tiempo tan hostil y destructivo para dichas substancias dada la mayor cantidad e intensidad de las radiaciones ultravioletas que llegaban a la superficie del planeta y a las cuales son especialmente vulnerables los nucleótidos y sus polímeros (67,133,171,172). Esta apreciación es la misma que encontramos en Hatman (132), sobre el origen y evolución del metabolismo (supra, V, 3.3a). Por otro lado, el autor que me ocupa señala que la primera información genética estaba cifrada en las imperfecciones de los cristales en cuestión. Al principio, el control del funcionamiento del "metabolismo" era efectuado sólo por un tipo de cristales (algún tipo de arcilla u otro silicato), siendo, por consiguiente, un sistema homogenético; luego, otros cristales e incluso algunos materiales de tipo orgánico (quizá oligonucleótidos y/o polinucleótidos), participarían en el control genético, entonces el sistema pasaría a ser heterogenético. Paulatinamente, substancias como los polinucleótidos comenzaron a tener mayor ingerencia en aquellos mecanismos de control hasta que por último lo tomaron de manera total y definitiva (67,133,171,172). A todo este proceso de evolución lo llama Cairns-Smith "metamorfosis genética", y a la forma de vida imaginada por él, basada en un cristal que no requería de la existencia inicial de moléculas orgánicas particulares (172), la llamó "vida primaria" y a la propiamente orgánica "vida secundaria" (133).

No se necesita mucho para darse cuenta que planteamientos alternativos como el anterior no allanan el camino para la solución del problema tratado aquí, y sí, al contrario, crean falsas expectativas. Por un lado, no explican de ningún modo cómo surge ese código regido por los ácidos nucleicos que es precisamente lo que se desea desentrañar y, por otro lado, se cae en el error meca

nicista al cual ya me he referido (supra, V, 3.1. y 3.3a), y que se expresa en forma dramática en este caso al contraponerse indebidamente los conceptos de "evolución" y de "origen", lo cual está acorde con el concepto cuantitativo de la evolución que es el único que los neocenicistas han entendido, pero olvidan - que la evolución no es un cambio cualquiera sino un cambio en virtud del cual - un sistema da origen a otro con cualidades distintas, de otro modo se podría afirmar que el hombre nunca se originó y que no hay nada cualitativamente que distinga al antropoide del Homo sapiens.

4. ALGUNAS CONSIDERACIONES FINALES.

Hasta ahora en este trabajo no se ha hecho referencia explícita a las diversas contribuciones importantes que otras ramas científicas han realizado en las últimas décadas para esclarecer el problema de la biogénesis o biopoyesis, especialmente aquellas que corresponden a la paleontología del Precámbrico, a la geoquímica orgánica de los estratos más antiguos de nuestro planeta, a la astronomía, a la geología, etc. Sin embargo, por razones de espacio y por la índole del presente trabajo, no me será posible tratar esos temas aquí. Por consiguiente, sólo haré algunas consideraciones muy breves y de carácter general. En realidad, el desarrollo de esta tesis ha gravitado en torno al enfoque experimental que es, por ahora, el que más se ha desarrollado, y también sobre el aspecto filosófico que tiene una vinculación directa con problemas conceptuales de carácter fundamental para el tema, que muy a menudo se dejan de lado y que es necesario tratar.

En lo tocante al aspecto paleontológico de la biogénesis, sólo hasta la década de los años sesenta de este siglo se comenzó realmente el estudio sistemático de los estratos más antiguos con fines de encontrar evidencias de la vida anterior al período Cámbrico, que data de unos 570 millones de años (5.7×10^8 años). Una de las primeras cuestiones capitales en la época de Darwin fue precisamente la relativa a la ausencia notable de fósiles en el período que precedió al Cámbrico.

co (Precámbrico). Muchas fueron las hipótesis formuladas entonces para explicar lo (174,175). Una de las más socorridas indicaba que ello obedecía a la carencia de partes duras como exoesqueletos (conchas, etc), o endoesqueletos resistentes a la descomposición. Sin embargo, algunos escépticos como Walcott insistieron en su empeño para encontrar fósiles en sedimentos depositados antes del sistema cámbrico (174). No obstante, Walcott y otros, como Gruner, que compartía sus ideas, no pudieron convencer a sus coetáneos (174) (*).

No fué sino hasta 1954 que Tyler y Barghoorn publicaron un trabajo preliminar que (176) lograría interesar seriamente a muchos científicos (sin duda a ello contribuyó el ambiente que empezaba a reinar a raíz de las experiencias de Urey y Miller). Tyler y Barghoorn, estudiando cuidadosamente las rocas sedimentarias estromatolíticas (**) de la formación ferrífera Gunflint, formadas principalmente por silex o pedernal perteneciente al llamado escudo canadiense, encontraron una gran cantidad de microfósiles que mostraban una diversidad bastante notable.

El conocimiento actual sobre la vida en el Precámbrico ha sido posible gracias al estudio sistemático de los llamados escudos antiguos que están formados por todas aquellas extensas áreas de la superficie terrestre donde las rocas precámbricas han aflorado (131,177) (ver mapa, fig. 27). Con todo, el registro fósil de esta etapa de la historia de nuestro planeta es muy incompleto y abundan en torno a él muchas conjeturas y controversias, situación que es también explicable por la corta edad de esa rama de la investigación científica.

(174) J.W. Schopf (1972), en: C. Ponnampuruma, ed. (1972), op. y ed. cit. (53), pp. 16-61.

(175) E. S. Barghoorn (1971), Sci. Am., 224 (5), 30-42.

(176) S.A. Tyler y E.S. Barghoorn (1954), Science, 119, 606-608.

(*) Debe aclararse que si se habían descubierto fósiles anteriores al período Cámbrico pero éstos eran sólo un poco más antiguos (~600 millones de años, 6.0×10^8 años), por lo que sus representantes no distaban mucho de los encontrados en el Cámbrico.

(**) Los estromatolitos son estructuras columnares formadas por acumulaciones calcáreas laminares debidas a la actividad de algunas algas marinas como las cianofíceas (cianobacterias).

(177) M.G. Ruten (1971), The Origin of Life by Natural Causes, ed. Elsevier, Amsterdam, pp. 175-184.

Fundamentalmente, las evidencias de vida precambriana consideradas - hasta ahora son: los propios estromatolitos, los microfósiles y los fósiles químicos, los que, desde luego, se complementan. Estas posibles evidencias se han buscado en las tres eras en las que suele subdividirse el Precámbrico: inferior, medio y superior. El primero comprende un período aproximado de 3.9×10^9 a 2.4×10^9 años; el segundo, de 2.4×10^9 a 1.8×10^9 años; y el tercero de 1.8×10^9 a 0.6×10^9 años (*).

Como es lógico imaginarlo, mientras más antigua sea la formación rocosa precambriana mayores son las dificultades para hallar vestigios biológicos, particularmente microfósiles. Así, en los últimos años se ha suscitado un debate en torno a supuestos fósiles microscópicos encontrados en los estratos del Precámbrico inferior o Arqueozoico, concretamente en las formaciones de los grupos- Onverwacht, Fig Tree y Bulawayo en Swazilandia, Sudáfrica.

En 1968 se publicó un informe preliminar que anunciaba el descubrimiento de microestructuras semejantes a algas primitivas unicelulares, esferoides y filamentosas, en las rocas sedimentarias silíceas del grupo Onverwacht, de unos 3.2×10^9 años de edad (178). Así pues, estos "fósiles" resultaban ser más antiguos que los encontrados en secciones petrográficas delgadas de las capas medias del supergrupo de Swazilandia, o sea en el grupo Fig Tree, de aproximadamente -- 3.1×10^9 años de antigüedad (179,180). Empero, mientras en el Onverwacht "los esferoides algales primitivos" no mostraban una uniformidad en cuanto a tamaño - y forma, lo cual hacía muy dudosa su biogenicidad, las estructuras encontradas por Barghoorn y Schopf ostentaban cierta regularidad en esas dos cualidades, cosa que hacía factible su autenticidad como presuntos microfósiles, llegando incluso a establecerse como nuevas especies. De este modo, se dio el nombre de

(178) A.E.J.Engel, B.Nagy, L.A. Nagy, C.G. Engel, G.O.W. Kremp y C.M. Drew (1968), Science, 161, 1005-1008.

(179) E.S. Barghoorn y J.W. Schopf (1966), Science, 152, 758-763.

(180) J.W. Schopf y E.S. Barghoorn (1967), Science, 156, 508-512.

(*) Consulte: H.L. Levin (1978), The Earth Through Time, ed. Saunders, Filadelfia, pp. 233-249.



Fig. No. 27.- Mapa que señala la distribución (en negro), de los escudos antiguos. Las líneas discontinuas indican los anillos móviles. (Tomado de: H.L. Levin (1978), The Earth Through Time, ed. Saunders, - Filadelfia, p. 235).



Fig. No. 28.- Fotomicrografía electrónica de una réplica de un supuesto fósil bacteriano denominado - Eobacterium isolatum, encontrado en la formación del Pig Tree. (179).

Eobacterium isolatum al microfósil que aparecía como una "bacteria" bacilar - (fig. 28), y a las formas que aparentaban características de algas "cianofíceas" se les dio el nombre de Archaeospheroides barbetonensis (179, 180).

Desde entonces se ha suscitado una polémica entre los científicos-escépticos y los que creen firmemente que los esferoides y otras microestructuras encontradas en las rocas del Precámbrico inferior (Arqueano), son evidencias de vida primitiva. Quienes defienden este último punto de vista se apoyan en los resultados obtenidos en los análisis químicos de las rocas del Arqueano (170, 181-184). En efecto, se han realizado diversos análisis geoquímicos que muestran pequenísimas cantidades de sustancias orgánicas de presumible origen biótico, tales como hidrocarburos, porfirinas, ácidos grasos saturados y hasta algunos aminoácidos, en los sedimentos de los grupos Onverwacht y Fig Tree - (178, 180, 185-189). Inclusive llegó a anunciarse la detección de actividad óptica en algunos de esos aminoácidos en los que se observaba un franco predominio de los estereoisómeros "L" (186), los cuales, como se sabe, integran a las proteínas naturales.

Si bien es cierto que la existencia de fósiles químicos puede ayudar a la determinación de la autenticidad de un fósil propiamente dicho (fósil morfológico), en este tipo de rocas se tropieza con dificultades serias que se acrecientan en proporción directa a la edad del estrato o del fósil en cuestión. Cuando se trata de fósiles del Fanerozoico, que abarca del período Cámbrico al actual (hace unos 0.6×10^9 años), no se presentan serias dificultades pues el análisis

(181) J. Brooks, M. D. Muir y G. Shaw (1973), Nature, 244, 215-217.

(182) M. D. Muir y D. O. Hall (1974), Nature, 252, 376-378.

(183) M.D. Muir y P.R. Grant (1976), en: E.F. Windlye, ed. (1976), The Early History of the Earth, ed. John Wiley, Nueva York, pp. 595-604.

(184) M.D. Muir, P.R. Grant, G.M. Bliss y W.L. Diver (1977), en: C. Ponnampetura, ed. (1977), Chemical Evolution of the Early Precambrian, ed. Academic Press, Nueva York, pp. 155-170.

(185) J.W. Schopf, K.A. Kvenvolden y E.S. Barghoorn (1968), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 52, 639-646.

(186) K.A. Kvenvolden, E. Peterson y G.E. Pollock (1969), Nature, 221, 141-143.

(187) K.A. Kvenvolden (1972), 24th Intern. Geol. Congr. Sec. I, 31-41.

(188) D.Z. Oehler, J.W. Schopf y K.A. Kvenvolden (1972), Science, 175, 1246-1248.

(189) K.A. Kvenvolden (1974), en: J. Oró, S.L. Miller et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (8), vol. 1, pp. 71-86.

se hace directamente en el fósil (190), que por otra parte es un fósil morfológico o bien definido. Por lo contrario, en los microfósiles del Precámbrico no es posible este tipo de análisis y normalmente se tiene que someter al análisis a toda la muestra de roca sedimentaria (174), amén de que el propio fósil es, con frecuencia, difícil de identificar morfológicamente. ¿Cómo saber si una esférula o una estructura filamentosa es en verdad un fósil o un simple agregado de sustancias inorgánicas? En realidad se puede estar en presencia de algo tan engañoso como las células artificiales de Herrera o de Traube (supra, II, 8.1), o bien podría tratarse de estructuras similares a las microesferas de Fox (fig. 20; v. supra, - V.2.2.). Otra dificultad radica en las cantidades infinitesimales de sustancias orgánicas que se pueden extraer de esas muestras rocosas, por lo cual el peligro de contaminación es enorme. Finalmente, debe señalarse que las rocas sedimentarias no son materiales impermeables, por lo que es posible la infiltración de sustancias de otros estratos más jóvenes (116, 174, 177, 187, 191-194).

Respecto a la identificación de aminoácidos ópticamente activos (enantiómeros), en muestras de sílex del grupo Fig. Trac (de 3.1×10^9 años de edad), es necesario hacer algunas consideraciones. Diversos estudios, entre los que destacan los realizados por Wehmiller y Hare (195), y K. A. Kvenvolden (196), sobre la racemización de los aminoácidos en los estratos fosilíferos, contradicen seriamente a aquellos resultados. En efecto, se ha demostrado en muy diversos fósiles fanerozoicos (conchas de moluscos, huesos, etc.), que la racemización de los aminoácidos se incrementa en proporción directa a la edad del fósil, de modo que puede alcanzarse la formación de racematos en fósiles más antiguos que

-
- (190) P.H. Abelson (1956), Sci. Am., sobretiro No. 101 (ed. W.H. Freeman).
 (191) G. Eglinton y M. Calvin (1967), Sci. Am., 261 (1), 32-43.
 (192) J.W. Schopf (1970), Biol. Rev., 45, 319-329 y 347-351.
 (193) J.W. Schopf (1975), Endeavour, 34, 51-58.
 (194) J.W. Schopf (1975), Ann. Rev. Earth Planet. Sci., 3, 213-249.
 (195) J. Wehmiller y P.E. Hare (1971), Science, 173, 907-911.
 (196) K.A. Kvenvolden, E. Peterson y F.S. Brown (1970), Science, 169, 1079.
 Citado por: J. Wehmiller y P.E. Hare (195).

el Plioceno (195). Esto significa que en un lapso mayor de 13 millones de años (0.013×10^9 años), que es la antigüedad calculada para el Plioceno (197), se tendría una mezcla con igual número de moléculas de L y D-aminoácidos.

De lo anterior se infiere que las probabilidades de encontrar L-aminoácidos en estratos de más de 3×10^9 años son extremadamente remotas y lo más seguro es que se haya tratado de contaminación durante el manejo de las muestras. Además de las substancias mencionadas como evidencias indirectas de la vida en el Arqueozoico existe un material insoluble de tipo polimérico cuya estructura química se desconoce, se trata de querogeno (188,189,191,194,198), el cual presenta una relación de isótopos de carbono estables: $C^{13}:C^{12}$. Esto tiene gran importancia porque se conoce que las plantas y en general todos los organismos fotoautótrofos tienden a fijar selectivamente una proporción más alta del isótopo C^{12} , lo cual no se verifica en los procesos químicos abióticos. El querogeno se revela al análisis considerablemente más rico en C^{12} , lo que no parece explicable si no es atribuyéndole un origen biótico (188). Por lo tanto, parece que el querogeno es el fósil químico del Precámbrico inferior más convincente, toda vez que se trata de un material singenético pues no es factible su infiltración a otros estratos (188,189,191,194,198). Con todo, algunos autores como Rutten dudan de la fiabilidad del análisis de isótopos de carbono para determinar la biogenecidad de materiales (177).

Por lo que respecta a los estromatolitos como indicios de vida arqueozoica, sólo existen los que pertenecen al grupo Bulawayo, al sur de Rodesia (199), originalmente descrito por Macgregor (200). Schopf señala que hoy se reconoce a los estromatolitos como evidencia macronoscópica más abundante de la actividad

(197) C.O. Dunbar y K.M.Waage (1969), Historical Geology, ed. Wiley, Nueva York, p. 406.

(198) T.C. Hoering (1965), Carnegie Inst. Wash. Yearbook, 64, 215-218.

(199) J.W. Schopf, D.Z. Dehler, R. Horodyski y K.A. Kvenvolden (1971), J. Paleontol., 45, 477-485.

(200) A.M. Macgregor (1941), Trans. Geol. Soc. South Africa, 43, 9-15, Reproducido en: K.A. Kvenvolden, ed. (1974), Geochemistry and the Origin of Life, ed. Dowden, Hutchinson & Ross, Stroudsburg, pp. 372-382.

biológica en el Precámbrico (201).

El estromatolito de la caliza de Huntaman del grupo Bulawayo tiene una antigüedad de entre 2.6 y 3.1×10^9 años (199,202), y hasta hace poco se reportó el descubrimiento de microfósiles en esta serie tan antigua (203), que al parecer contiene estructuras que pueden considerarse como bacterias cianofíceas primitivas. La antigüedad de esos microfósiles se calcula entre 2.8 y 2.5×10^9 años (203). Actualmente se discute su autenticidad y el origen de los estromatolitos. Tradicionalmente se ha creído que los estromatolitos son estructuras forjadas por las actividades fisiológicas de las cianofíceas. Esto implicaría que la fotosíntesis tiene una antigüedad de más de 3.0×10^9 años y, dado que las cianofíceas producen oxígeno durante ese proceso, es lógico imaginar el cambio a una atmósfera moderadamente reductora. Esto parece a algunos congruente con la existencia de algunos minerales muy oxidados como la hematita (Fe_2O_3), en sedimentos del Arqueano como las formaciones ferríferas comunes en los viejos escudos donde abundan los materiales de silex (204-207). Por otra parte, gran número de científicos considera que esos materiales oxidados fueron el resultado de la oxidación por el oxígeno generado en la fotólisis del agua, gracias a la acción de la luz ultravioleta (13, 177, 208); por ejemplo, explica Ruttan: "El grado de oxidación del hierro en los sedimentos no depende únicamente de la cantidad de oxígeno en la atmósfera contemporánea sino también de la relación entre las velocidades de oxidación, de transporte y de sedimentación" (177). Este punto de vista se apoya en la gran

(201) J.W. Schopf (1977), Precambrian Res., 5, 143-173.

(202) G. Bond, J.F. Wilson y N.J. Winnall (1973), Nature, 244, 275-276.

(203) L.A. Nagy y J.E. Zumberge (1976), Proc. Nat. Acad. Sci. U.S., 73, 2973-2976.

(204) P.E. Cloud (1972), Am. Jour. Sci., 272, 537-548.

(205) P.E. Cloud (1974), Am. Scientist, 62, 54-66.

(206) J.W. Schopf (1976), en: B.F. Windley, ed. (1976), op. y ed. cit. (183), pp. 589-593.

(207) M. Schidlowski (1976), en: B.F. Windley, ed. (1976), op. y ed. cit. (183), pp. 525-535.

(208) H.G. Ruttan (1970), Space Life Sci., 2, 5-17.

cantidad de compuestos "reducidos" que existen en capas del Arqueozoico, tales como piritita (FeS_2), uraninita (UO_2), y otros que son inestables en presencia de oxígeno libre; así pues, el oxígeno libre no podía haber aparecido antes de 2.0×10^9 años (131,177,208).

Recientemente se ha descubierto que los estromatolitos contemporáneos son formados por bacterias fotoautotróficas junto con cianofíceas, pero aquéllas tienen un papel preponderante sobre éstas en la constitución de las estructuras laminares del estromatolito (209,210). Resulta, además, que los estromatolitos formados por las bacterias (Chloroflexus), y por las cianofíceas (Phormidium tenue), guardan un parecido notable con los estromatolitos precambrianos, como el Conophyton (209,210). Por consiguiente, es probable que muchos estromatolitos del Precámbrico, especialmente los del Arcaico, se hayan debido a la actividad de ciertas bacterias fotoautótrofas, las cuales, como se sabe, no producen oxígeno sino azufre durante la fotosíntesis y además la realizan en un ambiente anoxigénico o anaerobio. Lo anterior estaría en concordancia con la idea de una atmósfera anoxigénica o muy pobre en oxígeno durante el Arqueano (209,210) (*).

En resumen, el Precámbrico inferior sólo presenta algunos indicios de actividad biológica; los microfósiles están realmente ausentes. Por lo que se refiere a los "microfósiles" descubiertos en el grupo Fig Tree, que durante unos ocho años fueron considerados como verdaderos, ahora se desconocen como tales incluso por sus descubridores, ya que aplicar a esas estructuras un criterio morfológico para su determinación como microfósil resulta demasiado engañoso (206,211, 212). Schopf ha realizado un análisis estadístico minucioso y ha llegado a la conclu-

(209) M.R. Walter, J. Bauld y T.D. Brock (1972), Science, 178, 402-405.

(210) W.N. Doemel y T.D. Brock (1974), Science, 184, 1083-1085. V. también: M.R. Walter (1977), Am. Scientist, 65, 563-571.

(*) Este descubrimiento se realizó cerca de las fuentes de aguas termales de Yellowstone, E.U.

(211) J.W. Schopf (1977), en: C. Ponnampetuma, ed (1977), op. y ed. cit. (184), pp. 101-105.

(212) J.W. Schopf (1976), Origins of Life, 7, 19-36.

sión de que los esferoides encontrados en el supergrupo de Swazilandia (donde está incluido el grupo Fig Tree), guardan más semejanzas con los "elementos organizados" hallados en el meteorito de Orgueil (una condrita carbonosa), que con las poblaciones de microorganismos protocaríotes modernos y con los microfósiles bien establecidos del Precámbrico medio y superior (Proterozoico) (212). Así, "virtualmente todos los microfósiles, reportados de tales preparaciones (réplicas carbonosas de secciones petrográficas delgadas, etc., de las formaciones del Fig Tree, Onverwacht, etc), no parecen ser precámbricos ni fósiles; aún el más convincente de estos cuerpos probablemente deban ser considerados a lo sumo como meramente sugestivos más que una evidencia precisa de la vida del Arqueano", declara William Schopf (212; v. también: 194,211).

En marcado contraste con el Arqueozoico nos encontramos con el Precámbrico medio y superior; ambos eones se nombran a menudo, Proterozoico. En estos se encuentran numerosos estromatolitos que van aumentando conforme se acercan al período Cámbrico. Algunos de ellos presentan una riqueza considerable de microbiotas, es decir, de conjuntos de microorganismos preservados como fósiles en una matriz de sílice. El número de microbiotas se ha incrementado en los últimos años, más de las tres cuartas partes de las cuales se han descubierto tan sólo desde 1970 (201). Además, en la Unión Soviética los científicos han estudiado los fósiles de microbios encontrados y extraídos de algunas pizarras proterozoicas (201). Sin embargo estos microfósiles no llaman tanto la atención porque en esas condiciones se está muy expuesto a la contaminación y la preservación es muy pobre (201).

En la tabla No. 11 se resumen los hallazgos y estudios realizados de microbiotas estromatolíticas, de acuerdo con una original de Schopf (201). A continuación me referiré brevemente a algunas muy importantes.

Los microbiotas más antiguos que se conocen del Proterozoico son los descubiertos recientemente por Nagy (213), en el llamado estromatolito de Transvaal, (213) L.A. Nagy (1974), Science, 183, 514-516.

Edad Aproximada (x 10 ⁶ años)	Unidad Geológica	Localidad	Estromatolito(s) Foliíferos	Autor(es)
570 > 575	Fm. Portfjeld (Eocámbrico)	Sur de la Tierra de Peary, Groenlandia	Sílex estratificada (Stratífera?) y pequeños oncolitos	Pedersen, 1970
570 > 675	Fm. Chichkan (Gpo. Karoy)	Sur de Kazakstan, URSS	Conophyton gaubitzia	Schopf and Sovietov, 1976.
675 > 800	Fm. Olkhin	Irkutsk Región de, Siberia, URSS	Pequeños oncolitos	Schopf, et al., 1977
600 > 1000	Fm. Kwagunt (Gpo. Chuar; Mem. Walcott)	Gran Cañón, Arizona, E.U.	Pequeños oncolitos	Schopf, Ford y Breed, 1973b; Bloeser et al., 1977
600 > 1000	Fm. Galeros (Gpo. Chuar, Mem. Carbón de Cañón)	Gran Cañón, Arizona, E.U.	Stratífera	Schopf, 1975b; Bloeser et al., 1977
675 > 600	Fm. Minyar (Gpo. Karatau)	Región de Ufa, Bashkiria URSS.	Stratífera	Schopf et al., 1977
740 > 870	Dolomita de Auburn (Gpo. Burra)	Sur de Australia	Desconocido (moldes algales destruidos)	Schopf, 1975b; Schopf et al., 1977
740 > 870	Fm. Myrtle Springs (Gpo. Burra)	Sur de Australia	Columnar y domiforme	Schopf, 1975b; Schopf et al., 1977.
740 > 870	Dolomita de Skillo galee (Gpo. Burra)	Sur de Australia	Columnar (ej. Baicalia) y domiforme	Schopf and Fairchild 1973; Knoll et al., 1975; Fairchild, en prep.
790 > 1080	Fm. de Bitter Springs (Mem. de Love Creek)	Australia Central	Stratífera	Schopf, 1968; Schopf y Blacic, 1971; Schopf, 1974 .

Edad Aproximada (x 10 ⁶ años)	Unidad Geológica	Localidad	Estromatolito(s) Fosilíferos	Autor(es)
740 > 870	Dolomita de Blyth (Gpo. Río Wakefield)	Sur de Australia	Desconocido (mol des algales des-truidos)	Schopf, 1975b; Schopf y Fairchild, en prep. - Schopf et al., en prep.
800 > 950	Fm. Shorikha	Región de Turukhansk Siberia, URSS	Stratífera	Schopf et al., 1977
1050 > 1200	Fm. Sukhotungusín	Región de Turukhansk Siberia, URSS	Stratífera	Schopf et al., 1977
1175 > 1225	Gpo. Dismal Lakes	Región del Gran Lago del Oso, Artico E.U.	Stratífera	Schopf, 1975b; Donaldson y Delaney, 1975; Horodyski et al., en prep.
1200 > 1400	Dolomita de Beck - Spring (Gpo. Pahrup)	S E de California, E.U.	Stratífera y domiforme	Licari, 1971.
1340 > 1430	Fm. Venpalle (Gpo. Cuddapah).	Sur del Centro de Andhra Pradesh, India	domiforme	Schopf, 1975b; Schopf y Prasad, en prep.
1390 > 1575	Dolomita de Balbirini (Gpo. McArthur)	NE del territorio norte de Australia	Stratífera	D.Z. Geiler, (pers. com.) 1975.
1390 > 1575	Dolomita de Amelia (Gpo. McArthur)	NE del territorio norte de Australia	Desconocido (mi crofósiles en centros barrenados)	Huir, 1974.
1390 > 1575	Dolomita de Bungle Bungle	Norte de Australia occidental	Stratífera (?) y domiforme	Diver, 1974.
1400 > 1540	Fm. Paradise Creek (Gpo. Mt. Isa)	NW de Queensland, Australia.	Conophyton, Euca-psiphora y Colletia	Licari et al., 1969; Licari y Cloud, 1972.
1700 > 2200	Dolomita de Duck Creek (Gpo. Wylloo)	Oeste de Australia Central	Stratífera (?)	Knoll y Barghoorn, 1975.
1800 > 2500	Fm. Kasegalik (Gpo. Belcher)	Sur de la Bahía de Hudson, Canadá.	Stratífera y domiforme	Hofmann y Jackson, 1969; Hofmann, 1974; Hofmann, 1976.

Edad Aproximada (x 10 ⁶ años)	Unidad Geológica	Localidad	Estromatolito(s) Fosilíferos	Autor(es)
1800 > 2500	Fm. McLeary (Gpo. Belcher)	Sur de la Bahía de Hudson	Stratífera y domiforme	Hofmann, 1974; Hofmann, 1976.
1800 > 2500	Fm. Ferrífera Gunflint (Gpo. Animikie)	Sur de Ontario, Canadá.	Stratífera biwabikensis, Osagia, y domiforme y colonial.	Barghoorn y Tyler, 1965; Cloud, 1965; Hofmann, 1969, Darby, 1974; Akiyama y Imoto, 1975.
1700 > 2200	Fm. Frere	Oeste de Australia Central	Stratífera y pequeños oncolitos	Walter, 1975, Walter et al., 1976.
1800 > 2500	Cuarcita de Pokegama (Gpo. Animikie)	NE de Minnesota, EU	Desconocido (micro fósiles en entrantes de superficies erosionadas)	Cloud y Licari, 1972
2220 > 2300	Dolomita de Transvaal (Gpo. Olifants River).	Este de Transvaal, Sudáfrica	Columnar	Nagy, 1974.

NOTA: Abreviaturas empleadas: Fm. = formación; Gpo. = Grupo; Mem. = miembro.

en una formación dolomítica del grupo Olifanta River (ver tabla No. 11). En estos sedimentos se encontraron estructuras filamentosas y cocoides que seguramente son restos de cianofíceas primitivas. A la forma filamentosa se le dio el nombre específico de Petraphera vivescenticula, que por su aspecto se asemeja a algunas especies actuales del género Raphidiopsis (R. mediterranea y R. indica). La Edad de estas calizas dolomíticas es aproximadamente $2.2 \text{ ó } 2.3 \times 10^9$ años(212).

Uno de los dos microbiota mejor estudiados es el de la formación Gunflint, que ya se había mencionado antes. Esta formación se encuentra al sur de Ontario, en Canadá, y está integrada por sílex o pedernal microcristalino, material carbonoso y sales de hierro. En esa matriz se encuentra el stromatolito con microorganismos fosilizados (176,214-217).

La formación Gunflint tiene una edad calculada de $1.8 \text{ a } 2.5 \times 10^9$ años (201), y muestra una cantidad apreciable de diversas formas de vida fósil, tales como bacterias (especialmente de formas bacilares), cianofíceas (cocoides y filamentosas), hongos primitivos, y otras estructuras difíciles de precisar taxonómicamente (figs. 29-33). Licari y Cloud publicaron un trabajo donde tratan de establecer afinidades de las formas encontradas en el Gunflint con especies vivientes (218); así comparan al género Animikia, de Barghoorn, con Oscillatoria, y a otras formas filamentosas, como el género fósil Gunflintia, con algunas nostocales con temporáneas. Además, Siegel y Giunatro descubrieron un organismo que asemejaron al fósil denominado (por Tyler y Barghoorn), Kakabekia umbellata, al cual han llamado K.Barghoorniana (219). También se encuentran bacterias bacilares que sería

(214) E.S. Barghoorn y S.A. Tyler (1965), Science, 147, 563-577.

(215) E.S. Barghoorn y S.A. Tyler (1963), Ann. N.Y. Acad. Sci., 108, 451-452.

(216) J.W. Schopf, E.S. Barghoorn, M.D. Maner y R.O. Gordon (1965), Science, 149, 1365-1367.

(217) E.S. Barghoorn (1971), Sci. Am., 224 (5), 30-42.

(218) G.R. Licari y P.E. Cloud (1968), Prog. Nat. Acad. Sci. U.S., 59, 1053-1060.

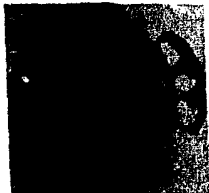
(219) B.Z. Siegel (1977), en: C. Ponnamparuna, ed. (1977), op. y ed. cit. (184), pp. 143-154.



Fig. No. 29.- Fotomicrografia electrónica de una réplica de la superficie de bacterias fósiles encontradas en la formación silícea de -- Gunflint, de antigüedad calculada en 1.9×10^9 años. (216).



Fig. No. 30.- Fotomicrografías de distintos fósiles conservados en el sílex de Gunflint:
 (a) Animikiea septata.
 (b) Gunflintia grandis.
 (c) Eosphaera tyleri.
 Tomado de Calvin (116), según: Barghoorn y Tyler (214).



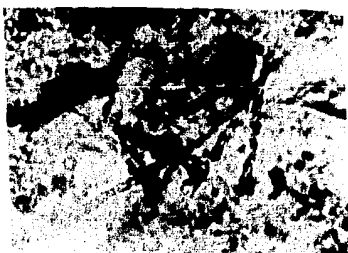
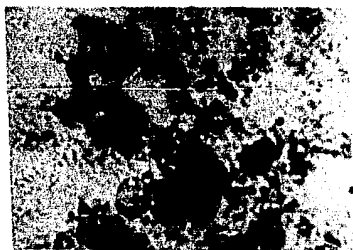


Fig. No. 31.- Fotomicrografías que muestran algunos fósiles de algas cocoides y filamentosas de la formación Gunflint.
(A) Se observan algunos ejemplares de Huroniospora sp.
(B) Se observan filamentos de Gunflintia minuta.
Fotos de M.D. Muir (1972), (181).



Fig. No. 32.- Fotomicrografía de una sección petrográfica delgada en la que pueden apreciarse formas cocoides y filamentosas de algas cianofíceas primitivas, y algunas bacterias tales como bacilos. (217).

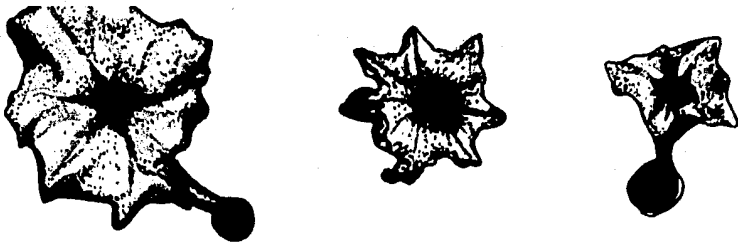


Fig. No. 33.- Dibujos que muestran a Kakabekia umbellata, microfósil encontrado en la formación Gunflint por Barghoorn y Tyler. (214).

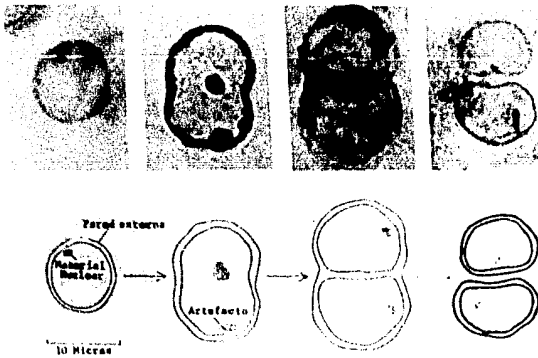


Fig. No. 34.- Serie de fotomicrografías de secciones petrográficas delgadas de la formación Bitter Springs, de un espécimen unicelular que se ha denominado Glenobotrydion enigmatis, en las que parece presentarse diferentes etapas de la mitosis. (223). Ilustración tomada de Barghoorn- (175).

ocioso comparar con algún grupo taxonómico específico, ya que el criterio morfológico no puede aplicarse en absoluto.

Por otra parte, el análisis de las rocas estromatolíticas del Gunflint reveló la presencia de hidrocarburos isoprenoides como el fitano y el pristano - que se aceptan como fósiles químicos derivados directamente del fitol, que forma parte de la molécula de clorofila (116,185,191,220); el fitano resulta de la reducción del fitol, pasando de alcohol a hidrocarburo, y el pristano resulta de la decarboxilación del fitol, disminuyendo en uno el número de carbonos (de 20 a 19). También se han detectado aminoácidos (191), como glicina, alanina, ácido glutámico, valina, leucina y otros.

Como puede observarse, el Gunflint guarda formas fósiles que revelan un considerable nivel de diversificación, lo cual significa que al depositarse los sedimentos del Gunflint la vida había alcanzado un desarrollo evolutivo notable.

Recientemente se hallaron microfósiles que guardan un parecido admirable con los microbiota del Gunflint y con una antigüedad similar (2.0×10^9 años). Se trata de los fósiles encontrados en la dolomita de Duck Creek, al oeste de Australia (221) (v. tabla No. 11). Esto, desde luego, respalda grandemente las investigaciones realizadas en las rocas sedimentarias del Precámbrico medio y la relativa al Gunflint, en particular, lo cual confirma la biogenicidad de tales fósiles y asegura el futuro de la investigación que se está realizando (221).

Como cabría esperar el registro fósil del Precámbrico superior es mucho más rico que todos los períodos anteriores. Los microbiota de esta etapa son los que componen principalmente la tabla No. 11. Como se puede ver en esa

(220) J. Oró, D.W. Zlatksi, S.A. Wilkström y E.S. Barghoorn (1965), Science, 148, 77-79.

(221) H.A. Knoll y E.S. Barghoorn (1976), Origins of Life, 7, 417-423.

tabla también en el Precámbrico o Proterozoico superiores son más abundantes los estromatolitos. Esta era comenzó hace aproximadamente 1.8×10^9 años o, quizá - hasta 1.2×10^9 años (194). Tal profusión de microbiota y estromatolitos (tabla No.11), así como su diversidad, ha iniciado el uso de los estromatolitos como indicadores bioestratigráficos, especialmente en la Unión Soviética (201, 222).

La formación fosilífera más importante de esta era por ser la más estudiada, es la conocida como Bitter Springs (223,224), en Australia central. Se trata básicamente de calizas fosilíferas en donde se hallan muy bien preservados una gama muy amplia de cianofíceas principalmente y, por añadidura, otros organismos como bacterias diversas y algas verdes (clorofíceas), doradas (mixofíceas o crisofíceas), ciertos dinoflagelados, y al parecer algunas algas rojas primitivas (rodofíceas). Estas estructuras parecen indicar que en el tiempo de la formación de los depósitos de Bitter Springs (hace $0.8 - 1.0 \times 10^9$ años), se habían desarrollado bastante los organismos eucarióticos, es decir, con células dotadas de núcleo bien definido y organelos como las mitocondrias y los cloroplastos. Por lo demás la flora que se manifiesta en las secciones petrográficas delgadas de la formación Bitter Springs es bastante parecida a la encontrada en la formación Gun flint (223,224), y a otras de edad similar. Precisamente, en relación con el origen de las células eucarióticas, una de las cosas que más ha llamado la atención del Bitter Springs es la presencia de ciertas células, bien preservadas, en las que a veces se advierte con claridad la presencia de gránulos negruzcos, los cuales han sido interpretados como núcleos celulares. Otros autores consideran a estos gránulos como posibles pirenoides (225). La creencia de que esos gránulos bien pueden ser núcleos celulares parece reforzarse con firmeza con una serie de secciones petrográficas realizada por Schopf y que muestran lo que bien podría interpretarse como las distintas etapas de la mitosis (fig. 34). Schopf denominó taxonómicamente a esos ejemplares bajo el nombre de Glenobotrydion aenigmatis

(222) M.R. Walter (1977), Am. Scient., 65, 563-571.

(223) J.W. Schopf (1968), J. Paleontol., 42, 651-688.

(224) E.S. Barghoorn y J.W. Schopf (1965), Science, 150, 337-339.

(225) E. Boureau (1976), La Recherche, No. 68, 541-551.

(223, ver fig. 34). Empero, existen algunos científicos que cuestionan todas esas interpretaciones. Boureau (225), por ejemplo, señala que tales ideas no parecen justificadas pues los "cuerpos oscuros" pueden originarse por concreciones minerales de modo similar a como se habían encontrado en el meteorito de Orgueil, así como en diversas mineralizaciones experimentales efectuadas en ciertas algas cianofíceas filamentosas (225). En consecuencia, Boureau y sus colaboradores mantienen la idea de que la presencia de eucariotes en el Precámbrico no está demostrado.

Otros argumentos invocados a favor de la demostración de células eucarióticas en el Bitter Springs es el de la presencia en las preparaciones petrográficas de estructuras que parecen tétradas de esporas, y otras, las cuales - también han sido cuestionadas (226). Barghoorn y sus asociados han realizado incluso algunos experimentos con cultivos de algas cianofíceas someténdolas a silicificaciones artificiales, tratando de reproducir el proceso mismo de la fosilización de estos organismos, y, de ese modo, han producido gran variedad de características que podrían calificarse a primera vista como de células eucarióticas (226-227). A pesar de esto, Schopf sigue pensando en la veracidad de las células eucarióticas en la formación de Bitter Springs y en otras de edad más o menos próxima a ésta (228,229).

Hay otras diversas formaciones que pueden tomarse como etapas intermedias del Gunflint y la de Bitter Springs, tal es el caso de la dolomita de Beck

(226) A.H. Knoll y E.S. Barghoorn (1975), Science, 190, 52-54.

(227) S. Francis, L. Margulis, W. Caldwell y E. S. Barghoorn (1977), en: C. Ponnamparuma, ed. (1977), op. y ed. cit. (184), pp. 181-183.

(228) J.W. Schopf (1977), en: C. Ponnamparuma, ed. (1977), op. y ed. cit. (184), pp. 107-109.

(229) J.W. Schopf (1974), Origins of Life, 5, 119-135.

Spring (ver tabla No.11), en California, 1.2 ó 1.4 x 10⁹ años de antigüedad. y la dolomita de Amelia del grupo Mc Arthur (230), en Australia (ver tabla No.11), Otras formaciones que presentan una flora muy parecida a la de Bitter Springs, es la llamada dolomita de Skillogalee (231), que es más reciente (unos 0.8 x 10⁹ años, en promedio).

El comienzo del Proterozoico (Precámbrico medio), hace unos 2.2 a 2.4 x 10⁹ años, trajo aparejado el aumento paulatino del oxígeno en la atmósfera por vía de la fotosíntesis realizada por las cianofíceas. Tal vez la atmósfera - llegó a hacerse francamente oxigénica hace unos 1.5 ó 1.8 x 10⁹ años (231), y quizá coincidió un tanto con esto la aparición de la célula eucariótica (~1.4 ó 1.5 x 10⁹ años) (231, 232). Después, hacia la época de la formación Bitter Springs se alcanza una gran diversificación de las células eucarióticas (229,231,232). Todo esto coincide, a su vez, con la enorme proliferación y desarrollo de los stromatolitos, algunos tan característicos como Conophyton que llegaron a formar verdaderos arrecifes algales y a influir en la ecología de la época (fig. 35). Algunos de ellos presentan una rica variedad de fósiles semejantes a los de Skillogalee y Bitter Springs (v. fig. 35), en los que predominan las cianofíceas (233).

Al llegar cerca del Cámbrico en los estratos sedimentarios las formas vivientes se diversifican cada vez más, hasta llegar a los primeros animales - propiamente dichos (metazoarios), quizá hace sólo 0.7 x 10⁹ años, o más.

Como puede verse los aportes de la geología y en particular de la paleontología, son aún limitados y la especulación tiene que hacer su aparición.

Los estudios de los estratos más antiguos, naturalmente, no nos van a decir nada sobre el origen de la vida, pero nos dan una idea de cómo fue evolu-

-
- (230) M.D. Muir (1974), Origins of Life, 5, 105-118.
(231) J.W. Schopf (1978), Sci. Am. 239, (3), 110-138.
(232) J.W. Schopf y D.Z. Oehler (1976), Science, 193, 47-49.
(233) J.W. Schopf y Y.K. Sovietov (1976), Science, 193, 143-146.

cionando y a partir de qué época empezó a manifestarse de modo sobresaliente. Con esos datos, y los que nos reporta la astronomía y el análisis de los meteoritos carbonosos (condritas carbonosas), es posible reconstruir la historia de la Tierra y en cierta medida la edad de la vida en ella. Así, todo hace indicar que la vida estaba ya presente de modo muy definido hace más de 3.0×10^9 años y quizá apareció hace 3.5×10^9 años o aún antes, en un planeta que tenía una atmósfera anoxigénica y rica en otros gases como metano; dióxido de carbono, monóxido de carbono, ácido sulfhídrico, etc., pero no amoníaco, como se pensaba antes, pues este gas sería fácilmente destruido por la radiación ultravioleta, tan intensa en el Primoevo (234, 235). Como ya dije (supra, IV,4), no hay acuerdo en torno al origen y la evolución de la atmósfera en cuanto a los gases que la componían lo cual ha dado pie a especulaciones que llegan a salir de los marcos factibles de la ciencia. No es posible que me ocupe de este tema detalladamente a pesar de ser tan controvertido en la actualidad y de su aclaramiento dependerá en mucho el futuro de la investigación sobre la biogénesis; es en este punto donde la astronomía, especialmente la planetología comparada puede hacer grandes contribuciones.

(234) J.P. Ferris y D.E. Nicodem (1972), Nature, 238, 268-269.

(235) J.P. Ferris y D. E. Nicodem (1974), en: R. Dose, S.W. Fox et al., eds. (1974), op. y ed. cit. (21), pp. 107-117.

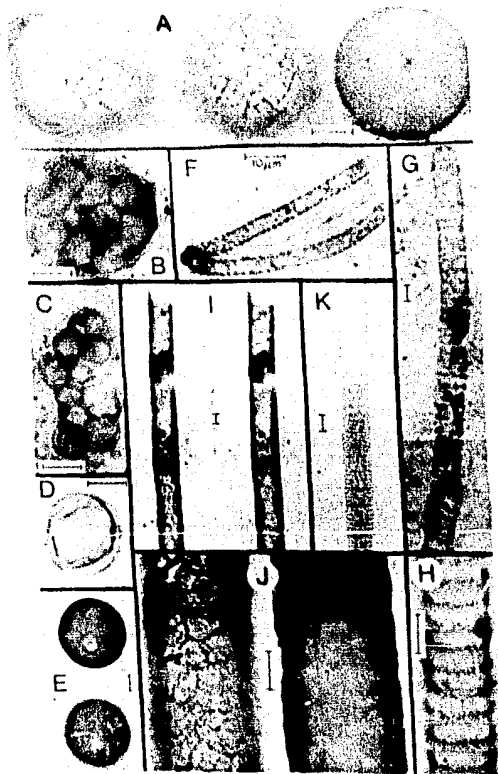


Fig. No. 35.- Microbiota encontrados en secciones petrográficas delgadas de Conophyton raubitzki del Precámbrico superior, al sur de Kazakstan (URSS). De (A) a (E), se observan distintas formas de algas coccoideas o esféricas. De (F) a (J), formas filamentosas, algunas de las cuales muestran un parecido aparente con la cianofíceas Oscillatoriaceae, Lyngbya majuscula. (233).

CONCLUSIONES

"...si la humanidad no hubiera poseído la esperanza de poder resolver los insolubles enigmas de la vida, jamás hubiera existido ciencia alguna"

Nordenskiöld.

Hace apenas cincuenta años que Oparin publicó su famoso libro y escaseas veinticinco de que Millar anunció en un informe preliminar el éxito de sus primeros experimentos, bajo la supervisión de su maestro Urey. Samuel ha dicho que "nunca antes había existido tan explosivo interés como resultado de un experimento simple" (1). Sin embargo falta mucho por hacer. Todavía se sigue considerando a la persona que se dedica al tema del origen de la vida como a un ser extraño, un ser supradotado; se tiene la idea de que sólo los individuos potencialmente perfectos pueden ser capaces de adentrarse y comprender, aunque sea un ápice, un problema tan complejo y tan escabroso. Todavía no se desmistifica al problema de la biogénesis. Esto ya por sí, demuestra el significado que ha tenido para los hombres de todas las épocas y sus vínculos con los sentimientos y las creencias más diversas.

Como se habrá podido ver en este breve recorrido por algunos de los puntos más relevantes de la biogénesis, aún falta mucho por aprender; sin embargo, es un hecho que hoy sabemos más sobre el origen de la vida que en toda la historia de la humanidad junta.

Hoy es claro para los investigadores del origen de la vida que la biogénesis o biopoesis no fue en la Tierra un proceso fortuito o casual, sino un fenómeno necesario y es de esperar que esto suceda en cualquier otra región del universo en la que se conjuguen todos los requerimientos mínimos. Así pues, la aparición y el desarrollo de la vida forman parte de la historia o evolución del universo. Así, a partir del carbono y otros elementos que se forjan en el núcleo de las es-

(1) E. Samuel (1972), Order in Life, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J., p. 268.

trellas, se pueden integrar diversos compuestos derivados de los hidrocarburos, - los cuales pueden encontrarse en el espacio interestelar y en algunos meteoritos o en otros planetas donde pueden evolucionar a compuestos más complejos e incluso llegar a formar microsistemas que podrían llamarse protobiontes, y a partir de ellos producir subiontes.

Ahora está firme la idea de que la vida no se originó sólo una vez, que en realidad fueron varias las formas de protobiontes que se produjeron en la Tierra primitiva, y que fueron varias las rutas ensayadas, a partir de las cuales se perfeccionaron cada vez más aquéllos sistemas arcaicos, hasta desembocar en la integración de microsistemas que reunieron los requisitos mínimos de un subionte, el cual estaba equipado con un mecanismo de programación de proteínas gracias al cual comenzó la evolución biológica propiamente dicha. Así pues, la vida surgió a través de un proceso gradual en el que se sucedieron múltiples etapas que estaban condicionadas por las precedentes y no apareció de un sólo golpe por un acto fortuito. En consecuencia, siempre que esas condiciones se repitan necesariamente emergerá la vida. En apoyo de esta convicción están los datos que aportan la paleontología, la geología y la astronomía. Por el registro fósil se deduce que la evolución biológica irrumpió en nuestro planeta hace por lo menos - 3,500 millones de años y a ella precedió una evolución química, incluyendo a los protobiontes, que duró unos 1000 millones de años.

Todo esto se desprende de los conocimientos de que se dispone en la actualidad y es un enfoque dialéctico y materialista aunque muchos científicos puedan asustarse cuando se den cuenta de ello. Aquí no tienen cabida los enfoques mechanicista y vitalista. Este asunto viene a colación porque tiene enorme importancia.

No hay duda de que falta mucho por aprender acerca de la biogénesis y de que la tarea es muy difícil, pero ésta puede aparecer más difícil aún porque los

científicos son frecuentemente víctimas de los más variados prejuicios emanados de su formación. Mejor dicho, de su deformación mental por medio de la educación que han recibido en el seno familiar, en la escuela, en la universidad y por los medios de comunicación masivos, y que está inmersa en el espíritu positivista que reina en la sociedad capitalista. Así pues, se presenta un choque o bien una extraña amalgama que se expresa ocasionalmente en la filosofía espontánea e inconsciente del científico que emana, por un lado, de la ideología dominante, y por otro, de la misma práctica científica. Así se explican las tendencias mecanicistas que observamos en muchos científicos al abordar el problema del origen de la vida; es evidente aun cuando no quieran aceptarlo, que practican - - - un materialismo espontáneo que aprendieron de la ciencia pero lo deforman al aplicar las categorías que han aprendido inconscientemente del positivismo, en cualquiera de sus formas, en el seno de su sociedad. Ya hemos visto que esto puede ser peligroso para la investigación científica, sobre todo cuando se trata de un problema que ha sido el refugio favorito del vitalismo y de las ideas más reaccionarias y obscurantistas, enemigas de la razón y del progreso. Aún hoy el problema del origen de la vida y el de su evolución enciende las pasiones, levanta enconados debates y reacciones violentas, y esto se da incluso entre los científicos, como lo ilustra la reciente polémica en torno a la cuestión, entre un vitalista como David Green y el mecanicista Leslie Orgel (2), o aquella otra que se suscitó durante el segundo simposio sobre el origen de la vida, celebrado en Florida, provocada por las opiniones francamente vitalistas de uno de los ponentes, Peter Mora (3). David Green declaró que "entamos encarados con la innegable y avasalladora conclusión de que el proceso evolutivo ha dejado intactos los principios fundamentales de la célula y que éstos han sido invariables a través de toda la his-

(2) "Discussion on the Origins of Life". TIBS, No. 54, marzo de 1976.

(3) S.W. Fox, ed. (1965), The Origins of Prebiological Systems and their Molecular Matrices, Academic Press, Nueva York, pp 39-64.

teoría evolutiva" (2), lo cual es contrario a la teoría de la evolución. Es un fijismo semidisfrazado. Asimismo, Green afirma sin ambages que la cuestión de cómo y dónde se originó la vida en el universo está en la categoría de lo irregulable, y añade: "Es siempre desagradable pensar que ciertos problemas están más allá de la investigación científica. Pero, la investigación científica requiere de la evidencia y si ésta no es reunida la cuestión deja de pertenecer al dominio científico" (2). En realidad, en este caso no se trata de las discusiones normales dentro de la ciencia sino de un debate ideológico que se emboza tras la discusión científica.

Por su parte, los mecanicistas ya empiezan a manifestar síntomas de angustia porque se les hace mucho tiempo veinticinco años para resolver el problema de la biogénesis. Algunos invocan soluciones alternativas que se antojan propias de la ciencia ficción, salidas mágicas o míticas que intentan solucionar la cuestión central de un sólo golpe. Otros, como John Keosian, plantean la posibilidad de neobiogénesis (4-6), que a pesar de lo que diga su autor es una nueva versión de la vieja idea mecanicista de la generación espontánea. La teoría de la neobiogénesis de Keosian se refiere a la formación posible y constante de novo de organismos primitivos a partir de material inerte y complejo. Fundamentalmente, Keosian trata de justificar su idea remitiéndose al archisocorrido principio positivista de que no es posible el conocimiento basado en pruebas o experiencias negativas (como la de Pasteur, en este caso); asimismo, indica que es factible que se haya producido neobiogénesis y se hubiera considerado al neobionte como un resultado de contaminación (4,5); finalmente, trata de justificar su teoría al considerar que ella permite explicar la existencia de vida simple como la que representan los microorganismos, pues sería más razonable suponer que se originaron sólo re-

(4) J. Keosian (1960), Science, 131, 479-482.

(5) J. Keosian (1968), El Origen de la Vida, ed. Alhambra, Madrid, pp.96-110. Traducción española de la primera edición en inglés (1964). Ver también la segunda edición de este libro (1968), en traducción española (1975), pp. 111-115.

(6) J. Keosian (1972), en: D.L. Rohlfsing y A.I. Oparin, eds. (1972), Molecular Evolution. Prebiological and Biological, ed. Plenum Press, Nueva York, pp. 23-34.

cientemente que tener la idea de que hayan permanecido inmutables durante más de dos mil millones de años (4,5), lo cual resulta contradictorio, según Keosian, con la alta frecuencia de mutaciones que se observa en las bacterias, por ejemplo (5).

Como puede verse ni siquiera la mayoría de los biólogos comprenden o conocen realmente la evolución. Por otra parte, resulta evidente la semejanza de argumentos de Green y de Keosian sobre una supuesta fijez a nivel celular, sus diferencias son sólo de grado y no de esencia.

En primer lugar, se reduce la evolución a un simple mutacionismo, al estilo de la vieja escuela de Morgan. En segundo lugar, es una soberana falsedad - que las bacterias y todos los microbios hayan permanecido prácticamente inmutables. Las bacterias, por ejemplo, presentan una diversidad en las vías metabólicas intermediarias que ningún otro organismo sobre la faz de la Tierra ostenta, y tal como lo han señalado De Ley y Kersters (7,8): "las bacterias han sufrido una muy pronunciada evolución química y muy escasa evolución morfológica" (8), y esto ha sido producto de un largo y complejo proceso (7), y no precisamente de la noche a la mañana o en unos cuantos lustros.

Por consiguiente, no hay porqué desesperarse, ni porqué hablar de una "crisis", como ha hecho recientemente Keosian (9), si bien es cierto que deben tomarse en cuenta algunas de sus críticas para enmendar errores de algunos enfoques experimentales.

Hace sólo veinticinco años que comenzó realmente la investigación científica sistemática del origen de la vida y ya comienzan a hacer estragos algunas concepciones prejuiciosas alimentadas por la ideología dominante. Keosian ha declarado que ¡ todos los enfoques actuales para una solución del problema de la biogénesis o bien son irrelevantes o bien conducen a un callejón sin salida! (9), ¿qué puede ser más grato a los oídos del vitalismo y de las ideas más retrógradas que

(7) J. De Ley (1968), en: Th. Dobzhansky, M.K. Hecht y W.M.C. Steere, eds. (1968), -

una idea así expresada por un hombre de ciencia prestigiado que además se ha interesado por el origen de la vida? Parece que en este caso se repite aquélla famosa "crisis" de la física a principios de siglo o aquélla otra de la teoría evolutiva en el mismo período. Se olvidan de que es poco tiempo para solucionar un problema tan complicado e ignoran las críticas que Engels levantó contra científicos derrotistas del siglo pasado. Se trata del problema de la biogénesis no de preparar enchiladas o diseñar un nuevo motor que no contamine, es demasiado pronto para hablar de "crisis" de esa manera. Quizá lleve otros venticinco años, o tal vez cincuenta, resolver un problema capital como éste, quien no este conciente de esto mejor que deje de preocuparse por esta cuestión y se dedique a otra. ¿Cuántos años se lleva estudiando el problema del cáncer? ¿Debemos abandonar su estudio o decir que está en crisis porque no se ha podido resolver? Aquí cabe recordar las palabras del gran "Mofo de Tréveris": "En la ciencia no hay calzadas reales, y quien aspire a remontar sus luminosas cumbres, tiene que estar dispuesto a escalar la montaña por senderos escabrosos" (10).

Finalmente, como ha señalado Oparin, padre del estudio científico del origen de la vida, hoy estamos más cerca que nunca de alcanzar la meta.

Podemos reproducir con gran aproximación el proceso evolutivo prebiológico en el laboratorio de una manera más o menos acelerada, pero no tanto como para conseguirlo en unos cuantos años pues estamos en el terreno de la ciencia y no en el de la magia o el milagro.

Evolutionary Biology, ed. Appleton-Century-Crofts, Nueva York, vol. 2, pp. 103-156.

- (8) J. De ley y K. Kersters (1975), en: M. Florkin y E.H. Stotz, eds. (1975), Comprehensive Biochemistry, ed. Elsevier, Amsterdam, vol. 28B, pp. 1-77.
- (9) J. Keosian (1970), Origins of Life, vol. en prensa, pp. 569-574.
- (10) C. Marx (1973), El Capital, Prólogo y nota final a la edición francesa, ed. Fondo de Cultura Económica, México, vol. 1.

INDICE GENERAL

CAPITULO I

Introducción	1
1.- El Origen de la Vida: ¿Problema Filosófico o Problema Científico?	3
1.1. Naturaleza de la Filosofía	3
1.2. La Filosofía como Ciencia	6
1.3. La Filosofía como Ideología	8
1.4. Ciencia e Ideología	16
1.5. El Origen de la Vida: Problema común de la Filosofía y la Ciencia	21
2.- Materialismo e Idealismo	23
3.- Mecanicismo y Vitalismo	24

CAPITULO II

Concepciones sobre el Origen de la Vida a través de la Historia	28
1.- La Generación Espontánea	28
2.- Antigüedad. Primeras Civilizaciones	29
2.1. Pensamiento Mítico	29
2.2. Pensamiento Filosófico	35
3.- Edad Media (el Feudalismo) y Edad Moderna (formación del Capitalismo)	40
4.- Edad Moderna	43
4.1. El primer experimento sobre la Generación Espontánea: Francisco Redi	44
4.2. El descubrimiento de la Vida Microscópica	45
4.3. Consecuencias de los Experimentos de Redi y de los descubrimientos de Leeuwenhoek	46
4.4. La controversia Needham-Spallanzani	47
5.- Epoca Contemporánea	49
5.1. Los trabajos de Pasteur	49
5.2. Consecuencias de los trabajos de Pasteur	52
6.- La Teoría de la Evolución	53
6.1. ¿Darwin y Pasteur frente a frente?	55
6.2. Ideas de Engels	57
7.- La Vida sin Historia: Teoría de la Panspermia	60
8.- Conceptos sobre el Origen de la Vida entre los siglos XIX y XX	64
8.1. La Biología Sintética y los trabajos de Alfonso L. Herrera	68
8.2. Hipótesis de Oparin	72
8.3. Haldane expone una Hipótesis semejante	75
9.- Conclusión General	76

CAPITULO III

Teorías acerca de la Naturaleza de la Vida	78
1.- Naturaleza de la Vida	78
2.- Vitalismo y Mecanicismo en el siglo XX	79
2.1. Doctrinas Biológicas a principios del siglo	80
3.- El Neopositivismo y el Vitalismo contemporáneo	82
3.1. Antecedentes y rasgos fundamentales del Neopositivismo	82
3.2. Del Idealismo Filosófico al Idealismo Físico	88
4.- Del Idealismo Físico al Idealismo Biológico	95
4.1. Mecánica Cuántica y Vitalismo	96
4.2. Entropismo y Vitalismo	101
4.2a. Las ideas de Schrödinger	107
4.2b. El Entropismo y la "improbabilidad" de la Vida	109
5.- El Irracionalismo de Jacques Monod	113
6.- Del Reduccionismo Materialista al Reduccionismo Idealista	125

CAPITULO IV

Producción de Compuestos Orgánicos en condiciones Prebióticas simuladas	136
1.- Evolución Química	136
1.1. Ataque del problema	137
1.2. Etapas de la Evolución Química	137
2.- Síntesis de Biomoléculas	139
2.1. Síntesis de Aminoácidos	141
2.1a. Mecanismos de Síntesis de los Aminoácidos complejos y alternativas al mecanismo de Strecker	162
2.2. Síntesis de Bases Nitrogenadas	168
2.2a. Bases Púricas	168
2.2b. Síntesis de Bases Pirimidínicas	176
2.3. Síntesis de Monosacáridos a -- ácidos carboxílicos	185
3.- Policondensaciones Prebióticas	186
3.1. El problema de las Fosforilaciones Prebióticas	188
3.2. Síntesis de Polipéptidos	204
3.2a. Pirocondensación de Aminoácidos	205
3.2b. Condensación de Aminoácidos en fase acuosa	212
3.2c. Otros métodos de Condensación de Aminoácidos	224
3.3. Síntesis de Polinucleótidos	236
4.- Discusión	251

CAPITULO V

Fronteras Actuales	258
1.- De las Macromoléculas a los primeros Organismos	258
2.- Microsistemas Polimoleculares	258
2.1. Coacervados de Oparin	259
2.2. Microesferas Protainoides de Fox	266
2.3. Otros Modelos de posibles Protocélulas	273
2.4. Evaluación crítica de los Modelos Protocelulares	275
3.- De la Materia Inerte a la Materia Viva	279
3.1. El problema de una Definición	280
3.2. Origen y probables Características de los Protobiontes	298
3.3. De los Protobiontes a los primeros Eubiontes	305
3.3a. Origen del Metabolismo	307
3.3b. Origen del Código Genético	319
4.- Algunas consideraciones finales	338
CONCLUSIONES	353
INDICES	
Indice General	359
Indice de Tablas	362
Indice de Gráficas	362
Indice de Figuras	363

INDICE DE TABLAS

Tabla No. 1.- Productos obtenidos por descargas eléctricas de una mezcla de CH_4 , NH_3 , H_2O e H_2	142
Tabla No. 2.- Productos obtenidos por descargas eléctricas en una mezcla de CH_4 , N_2 , H_2O e H_2	143
Tabla No. 3.- Resumen de los principales resultados obtenidos hasta 1977 en experimentos de evolución química (BIOMONOMEROS)	148
Tabla No. 4.- Promedio de las fuentes de energía actuales sobre la Tierra	158
Tabla No. 5.- Formación de trimetafosfato y polifosfato -- por calentamiento de una mezcla de urea, fosfato diácido de amonio y desoxitimidina	195
Tabla No. 6.- Efecto del Mg^{++} sobre la formación del piro-- fosfato a partir de fosfato monoácido de amonio a -- 85°C	196
Tabla No. 7.- Reacción en estado sólido del 5'-monofosfato de Adenosina (AMP) [$\beta\text{-}^{14}\text{C}$] con varios trimetafosfatos en presencia de Mg	198
Tabla No. 8.- Reacción del trimetafosfato de potasio con - 5'-monofosfato de Adenosina ($\beta\text{-}^{14}\text{C}$) en presencia de iones de Mg^{++} y Ca^{++} en estado sólido comparado con aquellas en solución acuosa	198
Tabla No. 9.- Fosforilación de uridina por apatita y oxalato de amonio	203
Tabla No. 10.- Comparación entre determinados dipéptidos - producidos experimentalmente y su frecuencia calculada en algunas proteínas naturales	219
Tabla No. 11.- Microbiotas conocidos de sedimentos Precambrianos algales (Estromatolíticos)	346a

INDICE DE GRAFICAS

Gráfica No. 1.- Fosfatos condensados producidos por calentamiento de mezclas de urea y $\text{-NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ durante 46 - horas	195
Gráfica No. 2.- Solubilidad de la fluorapatita en presencia de varias cantidades de oxalato	203
Gráfica No. 3.- Velocidades de utilización de la glicina - y de acumulación de polipéptido en una solución que contiene inicialmente glicina ($2\text{-}^{14}\text{C}$) a 0.005M y HCl a 0.1M	214

INDICE DE FIGURAS

Figura No. 1.- Matracas de Pasteur. Dispositivo ideado -- por Pasteur para demostrar la inexistencia de la fuerza vital	50a
Figura No. 2.- Esquemas de flujo de energía libre en diversos sistemas termodinámicos	128a
Figura No. 3.- Aparatos empleados para producir biomonómeros con mezclas gaseosas mediante descargas eléctricas	141a
Figura No. 4.- Diagrama de un tubo para producir sustancias orgánicas por medio de ondas de choque	162a
Figura No. 5.- Diagrama de un aparato de descarga húmeda para producir biomonómeros	162a
Figura No. 6.- Aparato para irradiación ultravioleta de mezclas gaseosas	171a
Figura No. 7.- Aparato para irradiación de mezclas gaseosas simulando la atmósfera primitiva	171a
Figura No. 8.- Ciclo Biogeoquímico del fósforo	189a
Figura No. 9.- Diferentes mecanismos de concentración propuestos para explicar la síntesis prebiótica	256a
Figura No. 10.- Fotomicrografías de coacervados	261a
Figura No. 11.- Fotomicrografía de coacervados	261a
Figura No. 12.- Estructuras de coacervados a diferentes concentraciones de buffer de acetato	265a
Figura No. 13.- Distribución de los ácidos nucleicos en gotas de coacervados formados por ARN-cuapeína	265b
Figura No. 14.- Gotas de coacervado vistas al microscopio electrónico explorador	265c
Figura No. 15.- Fotomicrografías de contraste de fase de microesferas proteinoidas mostrando los collares que con frecuencia las unen	267a
Figura No. 16.- Fotomicrografías de microesférulas de Fox que muestran una doble pared	268a
Figura No. 17.- Microesferas unidas por un collar que las comunica	268a
Figura No. 18.- Microesferas unidas por collares mostrando una endopartícula	270a

Figura No. 19.- Secuencia de la "gemación" en microesférulas	270a
Figura No. 20.- Comparación entre microesferas de Fox y microfósiles de Barghoorn	273a
Figura No. 21.- Comparación entre la bacteria <u>Bacillus caesus</u> y una microesfera proteinoide	273a
Figura No. 22.- Dibujos de sulfobios de Alfonso L. Herrera	273b
Figura No. 23.- Modelo Protoceular de Goldacre	273b
Figura No. 24.- Modelo Protoceular de Shah	273b
Figura No. 25.- Esquema de la hipótesis de la Reacción -- Central de Eakin	311a
Figura No. 26.- Modelo de la evolución ulterior del metabolismo a partir de la Reacción Central de Eakin	311b
Figura No. 27.- Mapa que muestra la distribución de los escudos antiguos	339a
Figura No. 28.- Fotomicrografía de <u>Eobacterium isolatum</u>	339a
Figura No. 29.- Fotomicrografía de bacterias fósiles	347a
Figura No. 30.- Fotomicrografías de microfósiles del Precámbrico medio	347a
Figura No. 31.- Fotomicrografías de algas fósiles del Precámbrico medio	347b
Figura No. 32.- Fotomicrografía de una sección petrográfica delgada con microfósiles	347b
Figura No. 33.- Dibujos de <u>Kakabekia umbellata</u> de la formación <u>Gunflint</u>	347c
Figura No. 34.- Serie fotomicrográfica de <u>Glenobotrydion-aenigmatia</u> , donde se observa una posible mitosis	347c
Figura No. 35.- Microbiota encontrados en un estromatolito (<u>Conophyton gaubitza</u>), en la Unión Soviética	351a