

EL ORIGEN DE LA VIDA EN LA TIERRA

FRANCISCO ARAGÓN DE LA CRUZ
Instituto de Ciencias de Materiales, CSIC, Madrid

RESUMEN

La evolución abiótica de la vida postulada por Oparin (1924) y Haldane (1929), ha sido materia de investigación hasta el día de hoy, ampliada con la búsqueda de vida en el universo.

Tanto la teoría, como los estudios empíricos de la evolución química, tienen implicaciones cósmicas, pues sugieren que el origen de la vida puede ser común en el universo, y que si la vida comenzó, de acuerdo con leyes físicas y químicas de carácter general (universal), ella no puede ser exclusiva del planeta Tierra.

Muchas cuestiones quedan sin respuesta, la mayoría de ellas se centran en los mecanismos por los que moléculas pequeñas, tales como aminoácidos y bases de ácidos nucleicos, llegan a organizarse en sustancias poliméricas, que alcanzan a formar sistemas de autorreplicación.

Los minerales de la arcilla, a causa de la amplia distribución geológica tanto en el tiempo como en el espacio, y su fuerte afinidad por los compuestos orgánicos, son los candidatos más idóneos, entre los materiales sólidos, para contribuir a las

ABSTRACT

The abiotic evolution of life, postulated independently by Oparin (1924), and Haldane (1929), has been the subject of continuing investigation during the last century.

The theory and empirical studies of chemical evolution have cosmic implications, for they suggest that the origin of life may be common in the universe, and that if life began according to universal physical and chemical laws, it is not unique to the planet Earth.

Many question remain, most of these centered on the mechanism whereby small biological molecules, such as amino acids and nucleic acids bases, became organized into a system of polymers which evolved into self replicating systems.

It is interesting to consider the contribution of solid surfaces to the «self- organization» of biomonomers into complex, replicating systems which we call life.

Because of their wide distribution in geological time and space, and strong affinity for organic compounds, clays and clay minerals, are the most likely

reacciones químicas que dan origen a las sustancias poliméricas, a partir de las que la vida emergió. *candidates among solid materials, to have contributed to chemical reactions, producing the polymeric substances from which life emerged.*

Palabras clave: Bioquímica, Cosmoquímica, Síntesis prebióticas, Siglo XX.

«En el principio creó Dios los cielos y la tierra»

Génesis, cap. I, vers.1

«Y dijo Dios: produzca la tierra seres vivientes según su género»

Génesis, cap. I, vers. 24

Desarrollo del tema

El problema del origen de la vida en la Tierra, viejo problema, tan antiguo como la humanidad, fue durante muchos siglos explicado mediante la teoría de la «**generación espontánea**», que recibió un duro golpe con las experiencias de Pasteur en 1864; las conclusiones que surgían de sus experimentos, eran que la «**vida procede de la vida**», al menos en las condiciones en las que realizaba sus experiencias.

Sus investigaciones originaron una paralización de este tema, desviándolo hacia la posibilidad de que la vida procediera de otros lugares del Universo, en realidad era una forma de evadirse del problema, a pesar de que en esta época Friedrich Wöhler (1800-1882), al sintetizar urea (1828), a partir de compuestos químicos inorgánicos en el laboratorio, obligaba a revisar el concepto de «**Química Orgánica**», como ciencia experimental, que se ocupa del estudio de las sustancias químicas procedentes de los organismos vivos.

Wöhler escribió a su maestro Berzelius, desde Berlin, el 22 de febrero de ese año (1828), acerca de estos experimentos y sus curiosos resultados, diciéndole que él podía obtener urea sin necesidad de un riñón, o de una criatura viva como un hombre, o un perro. Un comentarista de este trabajo, el Dr. Douglas McKie, de la Universidad de Londres, decía sobre estas frases de la carta a Berzelius, que Wöhler nada indicaba sobre la imposibilidad de obtener

urea sin sangre seca, o cuernos, pezuñas u otras sustancias «orgánicas», que eran entonces el punto de partida para obtener el cianógeno o los cianatos utilizados por él para su urea. Incluso la solución acuosa de amoniaco, que él denomina en su memoria científica «amoniaco líquido», tenía procedencia «orgánica».

Desde Estocolmo, Berzelius le contesta el 17 de marzo, que no encuentra en las experiencias de su discípulo una refutación del vitalismo, pues los cianatos de partida no son propiamente inorgánicos, como se indicó antes, y Wöhler ha efectuado una transformación química, pero no una síntesis química.

Wöhler, así describe su obtención de la urea en el «**Ueber Kunstliche Bildung des Harnstoffs 1828**. (Traducción de J. M. López Piñero, (1971)».

«En una breve comunicación anterior... afirmaba que por la acción del cianógeno sobre el amoniaco líquido se forman, entre otros varios productos, ácido oxálico y una sustancia blanca cristalizable que no es cianato amónico, pero que se obtiene siempre al intentar producirlo combinando ácido ciánico y amoniaco, como, por ejemplo, por la llamada doble descomposición, el hecho de que la unión de estas sustancias pareciera cambiar su naturaleza, dando lugar a un nuevo cuerpo, centró mi atención sobre el problema; la investigación dio el inesperado resultado de que se produce urea por la combinación de ácido ciánico y amoniaco, lo que constituye un hecho notable en cuanto proporciona un ejemplo de producción artificial de una sustancia orgánica —de las llamadas animales— a partir de materiales inorgánicos».

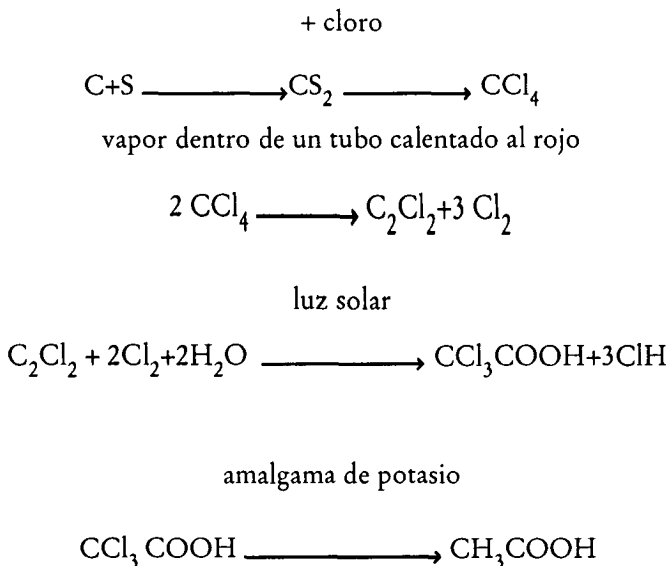
La primera síntesis de un compuesto orgánico, de origen biológico, la realiza Adolph Wilhelm Hermann Kolbe (1818-1884), discípulo de Wöhler, en 1845¹.

Utilizando la nomenclatura química moderna, se puede resumir su trabajo de la forma siguiente: Disulfuro de carbono, CS_2 (obtenido mediante calentamiento de carbón vegetal y azufre), reacciona con cloro Cl , para dar tetracloruro de carbono, CCl_4 que, cuando pasa en forma de vapor a través de un tubo calentado al rojo, se descompone en cloro y en tetracloroetileno C_2Cl_2 , que, con la luz solar y en presencia de agua, y (cloro libre) da ácido tricloro acético,



Friedrich Wöhler
(1800-1882). Sintetiza la urea
(1828) por primera vez

Melsen había reducido el ácido tricloroacético, a ácido acético con amalgama de potasio; luego la síntesis del ácido acético a partir de sus elementos era completa. Esta fue la aportación de Kolbe en 1845, fecha de su publicación⁴.



Quienes estén muy interesados en estas materias, pueden opinar que ambas sustancias, urea y ácido acético, pertenecen a los productos de «degradación», de los organismos vivos, pero aquí solo se ha querido comentar la síntesis de Wöhler⁵.

Hay que destacar que la interpretación de la «síntesis» de Wöhler dada a «posteriori» es diferente a la dada por éste, Berzelius, o Gerhardt, pues se continuó en la creencia de la existencia de una fuerza vital en la formación de sustancias orgánicas.

En el gran tratado de Química de Berzelius, en su edición póstuma editada por Wöhler, se lee: «En la naturaleza viviente, los elementos parecen obedecer a leyes completamente diferentes a las de la naturaleza inorgánica. Si se pudiera descubrir la causa de esta diferencia, se tendría la llave de la teoría de la Química Orgánica», (edit. en francés)⁶.

La situación científica era: si la vida existe en este planeta, y no ha venido del exterior, hay que buscar las condiciones físicas que se dieron en un

momento determinado de la Historia Natural de la Tierra, para que se produjera este fenómeno denominado vida, situación irreversible que no permite volver a las condiciones anteriores, sino que daría lugar a una evolución biológica.

En la segunda mitad del siglo XIX, tiene lugar la publicación de los trabajos del biólogo inglés Darwin, aceptados en los círculos científicos, académicos, universidades, centros de investigación, etcétera..., después de virulentas controversias en algunos países. La concentración de la atención de los científicos en este problema, posiblemente fue una de las causas, que desplazaron el interés de investigar en el origen de la vida, a pesar de que comenzaba a haber suficiente cantidad de datos experimentales procedentes de la astronomía, física, química, geología y biología, para poder comenzar a elaborar una doctrina científica sobre este tema.

Otra razón fue posiblemente los conflictos de tipo ideológico que levantaron las ideas biológicas de Darwin; aunque él no quiso extrapolarlas fuera del área de la historia natural, su teoría fue utilizada por el capitalismo demoliberal del siglo pasado, para justificar el triunfo en la sociedad de los «más aptos», en la lucha por la vida; así se justificaba la acumulación de dinero y a «posteriori» de poder, en unos pocos en detrimento de una mayoría, tratando de darle carácter de ley natural extraída de las ciencias naturales.

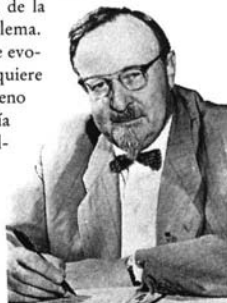
A mediados del siglo XIX Pasteur, además de sus investigaciones antes citadas en contra de la generación espontánea, estudia los fenómenos ópticos de las soluciones acuosas de los ácidos tartáricos, de los tartratos, y del ácido llamado paratartárico, o racémico, nombre que alude a su procedencia de los «racimos de uvas».

Hay dos moléculas de ácido tartárico ópticamente activas, una desvía la luz polarizada hacia la derecha llamada por esta razón dextrógira, y la otra hacia la izquierda levógira. Además, el ácido llamado paratartárico o racémico es inactivo a este fenómeno óptico, no desvía el haz de luz polarizada.

Pasteur investiga el fenómeno, y atribuye su causa a la estructura molecular de este ácido, son moléculas asimétricas, semejantes una a la otra como una de ellas y su imagen en un espejo; el ácido paratartárico, ópticamente inactivo, es una mezcla del levo y del dextro, que anula el efecto de las dos clases de moléculas.

Pasteur también pone de manifiesto que en el laboratorio siempre se forma la mezcla de los dos, o sea el racémico por razones termodinámicas, pues ambos tienen la misma energía de formación. Solo en la naturaleza viva se produce uno de ellos, en el planeta Tierra, generalmente el *levo*. Esta investigación fue una de las razones de Pasteur para justificar su teoría de «la vida procede de la vida». El fenómeno de la actividad óptica de las moléculas orgánicas en la materia viva será uno de los problemas que intentarán explicar los científicos que investiguen el origen de la vida en la Tierra, cuando lo aborden con todas sus consecuencias en la segunda mitad del siglo XX.

Hay que esperar al siglo XX para que en la URSS, un bioquímico, Alexander Ivanovich Oparin, en 1924, (30 años de edad), publique un folleto en ruso, «*Proiskhozhdenie zhizny*», (el origen de la vida), planteando científicamente este problema. Según él, la materia en un determinado estado de evolución experimenta un cambio cualitativo y adquiere nuevas propiedades que caracterizan al fenómeno que llamamos vida. Es posible que la filosofía imperante en Rusia después de la revolución bolchevique facilitara este tipo de planteamientos científicos, de modo semejante a lo ocurrido en la Inglaterra de la revolución industrial y las ideas biológicas de Darwin.

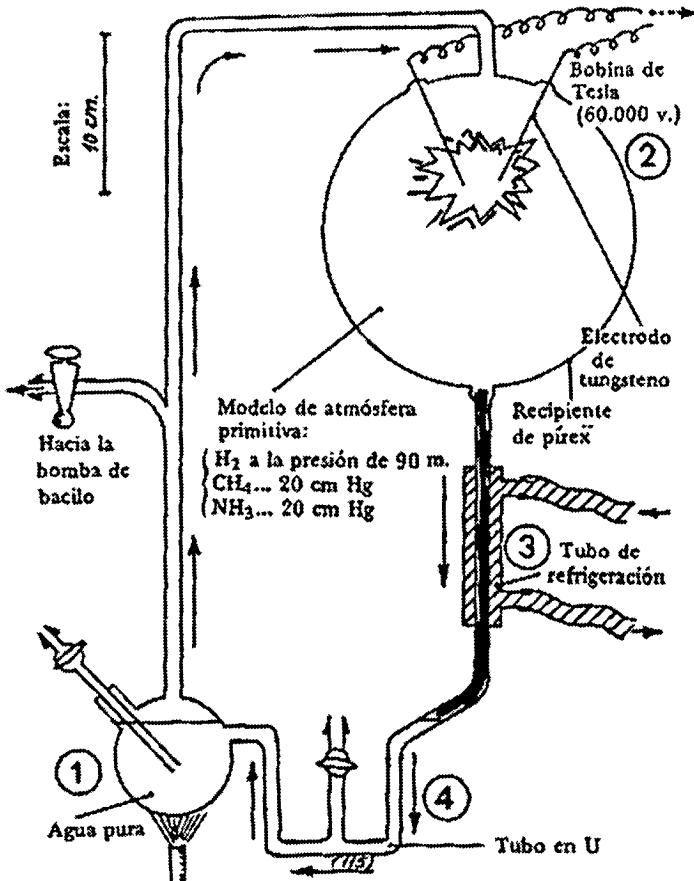


*Alexander Ivanovich Oparin,
en 1924, publica el folleto
«El origen de la vida».*

Este tipo de teorías que tratan el origen de la vida desde un punto de vista mecanicista, pueden irritar a determinados grupos de poder social, pero Oparin vivía en un país que después de 1917, era oficialmente ateo. No tenía nada que temer de la ideología estatal. Basándose en la hipótesis de la existencia de una atmósfera de metano, amoníaco y vapor de agua, y de una fuente de energía representada por el Sol, Oparin razonó paso a paso el camino que podía haber conducido a la aparición de la vida en la Tierra.

Cinco años después, en 1929, J.B.S. Haldane, bioquímico inglés, publica en la revista «*Rationalist Annual*», planteamientos científicos sobre el mismo tema semejantes a las ideas de Oparin. Estos documentos básicos en el enfoque moderno del origen de la vida son actualmente textos clásicos.

El problema se va definiendo con claridad como uno de los más interesantes de la Ciencia, pero aún no está maduro. Mientras tanto las potencias europeas se miran con desconfianza; sus científicos tienen que investigar en nuevos campos que aparecen, algunos con aplicación bélica inminente, como es



- 1.º Ramal de agua: producción de vapor y de calor. Los gases circulan en el sentido de las flechas.
- 2.º La mezcla gaseosa pasa una semana en el matraz, donde la chispa ininterrumpida simula la tempestad.
- 3.º Condensación de vapor: simulación de lluvia.
- 4.º Acumulación de compuestos en el agua del tubo en U: simulación del océano.

Aparato diseñado por Miller, para sus experimentos de obtención de aminoácidos.

la energía nuclear. Otro como el de los antibióticos, también será útil en la guerra que se avecina.

Después de esta segunda contienda mundial, hay una evasión en el trabajo de algunos científicos, hacia un tipo de temas de investigación que no tenga carácter destructivo.

Así el profesor H. Urey, decide investigar el origen de la vida en la Tierra, mediante síntesis prebióticas, realizando la parte experimental su discípulo Miller, con el aparato diseñado para reproducir la atmósfera primitiva de la Tierra, partiendo de la hipótesis ya sugerida por Oparin de una atmósfera reductora primitiva formada por hidrógeno e hidruros. Sometida a descargas eléctricas y radiación solar sin protección de la capa de ozono existente hoy en las capas superiores de la atmósfera, cuyo origen es biológico, por la acción clorofílica de las plantas verdes, no existentes en aquel tiempo.

El premio Nobel americano Harold Clayton Urey (1893-1981) orienta la investigación química de su discípulo, Stanley Lloyd Miller (1930-), en 1953, hacia la reproducción de la atmósfera primitiva de la Tierra, que suponía formada de hidrógeno, amoníaco, metano y vapor de agua; sometiendo esta mezcla a descargas eléctricas, se obtuvo una solución acuosa de aminoácidos, los «ladrillos», o piezas fundamentales de las proteínas que forman la materia vida.

El pragmatismo americano ponía en marcha las ideas de Oparin de 1924 y abría experimentalmente un nuevo campo de investigación: «el origen de la vida en la Tierra», luego vendrían nuevas experiencias y nuevos nombres, Juan Oro⁷, Cyril Ponnameruma⁸, etcétera...

¿Para qué sirven saber lo que pasó hace cuatro mil millones de años?. Los historiadores dicen: «si conoces el pasado, comprenderás el presente y podrás planificar el futuro». Del mismo modo, si sabes cómo apareció la vida en este planeta, podrás conservarla lo mejor posible y evitar que desaparezca antes de lo previsto.

La estrella Sol tiene una duración aproximada de doce mil millones de años; han transcurrido ya unos cinco mil millones de su existencia, cuando desaparezca, también desaparecerá la Tierra, hay que procurar que los miles de millones de años que le quedan a la Tierra de existencia no los cambien el hombre por solo unos miles de años.

Cosmoquímica

Justificada la razón de este tipo de investigación, vemos que hay que situarla en la actualidad dentro de la evolución total de nuestro sistema planetario, al que estamos ligados.

Por evolución del polvo cósmico, según las teorías cósmicas actuales, se forma un sistema planetario, que gira alrededor de una estrella, que irá también evolucionando hacia una estrella roja gigante que consumirá sus planetas; después explotará como una supernova y finalmente colapsará para pasar a una estrella blanca de baja luminosidad.

Uno de estos sistemas planetarios que gira alrededor de una estrella, es nuestro sistema solar, y nos encontramos en un momento de este sistema cuyo origen y evolución conocemos a través de la astrofísica.

En la siguiente tabla aparecen un conjunto de datos que nos permiten clasificar al Sol y a los planetas que lo rodean:

Planeta	Radio Medio en Km	Masa en Kgs.	Distancia Máxima del Sol Tomando la de la tierra como unidad	Densidad
Sol	696.500+500	1.986.600 x 10 ²⁴	1,4
Mercurio.....	2.330+50	0,326 x 10 ²⁴	0,387	6,1
Venus.....	6.100+50	4,88 x 10 ²⁴	0,723	5,1
Tierra	6.371	5,97 x 10 ²⁴	1,00	5,5
Marte	3.407+5	0,64 x 10 ²⁴	1,523	3,9
Júpiter	69.774+50	1.896 x 10 ²⁴	9,202	1,3
Saturno	60.450+50	567 x 10 ²⁴	9,554	0,7
Urano.....	23.500+500	87 x 10 ²⁴	19,218	1,6
Neptuno.....	22.500+200	102 x 10 ²⁴	30,109	2,2
Plutón.....	3.000 (?)	(?)	39,517	?

Tabla 1

Se observan dos grandes grupos en función de los datos expuestos, uno constituido por Mercurio, Venus, Tierra y Marte, y el otro por los restantes.

Los planetas más próximos a la Tierra son Venus y Marte, aparte del satélite Luna que carece de atmósfera, posiblemente debido a su baja densidad, semejante a las capas superiores de la Tierra, (capa de silicatos, por lo que según una teoría, la Luna puede proceder de la Tierra, al desprenderse de la zona que hoy forma el océano Pacífico, cuyas aguas ocuparon la gran fosa dejada). Esta pequeña densidad origina una atracción gravitatoria pequeña que no puede evitar que las moléculas de oxígeno y nitrógeno tengan energía térmica suficiente para escapar de su campo gravitatorio.

Si nos concentramos en Venus y Marte, los dos planetas con posibilidades de una vida semejante a la de la Tierra, en el caso del primero, una densa capa de gases produce sobre él, el efecto llamado de invernadero, originado al permitir el paso de la radiación solar, e impedir el de los rayos infrarrojos que se desprenden del suelo, como consecuencia de la incidencia de la radiación solar. Esto hace que suba la temperatura hasta 400° C..., lo que impide la existencia de la vida sobre la superficie, al menos de la forma que la conocemos.

En el caso de Marte, la información que tenemos, incluso directa por la «Viking Mission», no es muy clara en cuanto a la existencia de vida, o de componentes químicos de origen biológico. La existencia de una débil atmósfera, en la que se aprecia agua y dióxido de carbono, podría permitirla, aunque de forma muy rudimentaria, pero aún no hay pruebas definitivas. Las fotografías tomadas de la erosión de su suelo inclinan a pensar en la existencia de ríos de agua, cuyos lechos secos son las superficies erosionadas que apreciamos en algunas de ellas, pero de ser cierto lo fue, hace millones de años.

¿Puede la vida existir en otro lugar?

Dentro del sistema solar parece que la Tierra es el único planeta que alberga vida. Las misiones enviadas a explorar el espacio en estos últimos años no han eliminado la posibilidad de vida en Marte o en el satélite de Saturno, Titán (Sagan). También es muy poco probable la existencia de alguna forma de vida en algunos de los asteroides de mayor tamaño situados entre Marte y Júpiter, en algunas zonas de clima templado de Júpiter, o en su satélite Europa. Aunque el satélite Europa está cubierto de una capa gruesa de hielo, se ha sugerido recientemente que la vida puede existir en la subsuperficie de los océanos del satélite.

Desde el punto de vista geológico, la existencia de grandes océanos es quizás la única faceta de nivel macroplanetario que puede estar correlacionada con la existencia de vida; si el satélite Europa tiene océanos internos de agua, puede ser uno de los últimos lugares alternativos de vida en el sistema solar, además de la Tierra.

En cualquier caso, sólo las sondas espaciales enviadas a estos lugares, proporcionarán la necesaria información sobre el grado de desarrollo de la evolución química en estos cuerpos del sistema solar: asteroides, Júpiter, Europa y Titán.

Sobre si hay o no vida más allá del sistema solar, no se conoce información en el presente. Este problema se ha estudiado en el pasado como simple cálculo de probabilidades utilizando estimaciones basadas en una evidencia limitada. Como consecuencia, no es sorpresa que las probabilidades calculadas por diferentes autores, tengan valores que van desde la unidad a varios millones. Sin embargo recientes estudios sobre estrellas semejantes al Sol sugieren que una porción significativa de estas estrellas, puede estar acompañada por sistemas planetarios semejantes al nuestro. Posiblemente esta cuestión será respondida con más precisión en las próximas décadas. Luego hay que centrar el problema sobre el origen de la vida, en la Tierra donde con toda seguridad sabemos que existe.

Si geológicamente nos remontamos a los tiempos de formación de la Tierra, estos fueron hace unos 5.000 mil millones de años. Solidificada la Tierra, ésta estaba rodeada de una atmósfera reductora formada por amoniaco (NH_3), metano (CH_4) agua (H_2O), sulfuro de hidrógeno (SH_2) y cianuro de hidrógeno (CNH) y recibía del Sol una fuerte radiación ultravioleta.

En 1953, Stanley Miller en la Universidad de Chicago, obtiene a partir de una mezcla de metano, amoniaco, agua e hidrógeno, suministrando energía mediante descargas eléctricas, una solución de aminoácidos (glicina, alfa- alanina, beta-alanina, ácido aspártico, y ácido alfa- aminobutírico).

Este mismo año 1953, Watson y Crick dieron a conocer la estructura del D.N.A. Su modelo helicoidal clarifica los mecanismos de duplicación mediante desdoblamiento de un D.N.A., en dos.

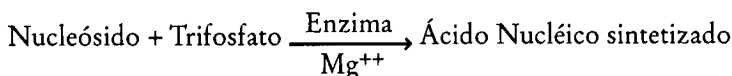
A la experiencia de Miller sucedieron otras, con las que se obtuvieron más aminoácidos y se perfeccionó el aparato donde se realizaba la reacción química.

Hay que destacar el trabajo de Oro sobre la síntesis de la adenina en 1960, a partir de cianuro de hidrógeno en solución acuosa de amoniaco. La adenina es una de las bases nitrogenadas que une entre sí las dos filas de fosfato-azúcar por puentes de hidrógeno para formar un enrollamiento helicoidal doble en la molécula de D.N.A., y que supuso un avance en el campo de las reacciones químicas prebióticas.

En líneas generales se puede decir que las moléculas orgánicas más importantes (biomonómeros) en los sistemas vivos, como aminoácidos, bases nitrogenadas de los ácidos nucleicos y azúcares, han sido obtenidas en los laboratorios en condiciones semejantes a las primitivas de la Tierra (atmósfera reductora, y acción de descargas eléctricas o radiación ultravioleta). A partir de estas moléculas se formarán por polimerización, péptidos, materiles semejantes

a las proteínas, polinucleótidos (fosfatos-azúcar-base de ácido nucleico) que conducirán a la formación de verdaderos ácidos nucleicos.

Hay que destacar, aunque no es un experimento de evolución química, la síntesis «*in vitro*», de ácidos nucleicos por Ochoa, Kornberg, y colaboradores. Ellos pusieron de manifiesto la siguiente reacción:



Los fosfatos de nucleósido, (base nitrogenada + azúcar) se pueden sintetizar en condiciones más o menos semejantes a la del estado primitivo de la superficie de la Tierra, y el magnesio constituye el 2% de los átomos de la corteza terrestre.

La anterior reacción no es detectable en ausencia de enzimas, llamadas también biocatalizadores por su comportamiento como tales. Sin embargo desde el punto de vista de la evolución química, el tiempo o un catalizador inorgánico pueden sustituir a un biocatalizador aunque la velocidad de la reacción sea más lenta.

La demostración de la reacción anterior en el laboratorio, sugiere que los ácidos nucleicos pueden haberse acumulado en la superficie de la Tierra prebiótica y que la previa acumulación en el tiempo, de los ácidos nucleicos y de los polipéptidos, permitiría después la interacción entre ellos, y la acción catalítica de uno en la formación del otro. Estas biomacromoléculas progresarían hacia un grado de organización que ahora podemos observar en las células vivas.

Otro problema ligado a la evolución química, es la existencia de moléculas orgánicas con actividad óptica. En las síntesis de laboratorio aparecen ambos isómeros ópticos, más por reacciones químicas sobre la superficie del cuarzo (cristal ópticamente activo), se favorece la formación de uno de los isómeros ópticos. También la luz polarizada circularmente favorece la formación de uno de ellos.

Dentro de este amplio campo de investigación que abarca la astronomía, astrofísica, física, química, geoquímica, geología, bioquímica y biología, quisiera exponer el papel que pudieron tener los minerales de la arcilla.

Los minerales de la arcilla y el origen de la vida

J.D.Bernal⁹, en el trabajo «The Physical Basis of Life» (1949), destaca el papel importante que han podido tener los minerales de la arcilla en la

evolución química: «se ha puesto de manifiesto particularmente por MacEwan¹⁰ (1948), que gran variedad de compuestos químicos orgánicos son absorbidos por tales superficies (arcillas) en forma regular». Durante más de 30 años, los primeros bajo la dirección del Prof.D.M.C. MacEwan, he estado trabajando sobre este tipo de compuestos, (F. Aragón) y los problemas están más claros que en 1949.

FORMACIÓN DE AMINO ÁCIDOS A PARTIR DE LA HIDRÓLISIS DE KON EN PRESENCIA DE MONTMORILLONITA O DE ÓXIDO GRAFÍTICO

POR

F. ARAGÓN DE LA CRUZ Y C. VITÓN BARBOLLA

Anales de Química de la Real Sociedad de Física y Química,
Vol. 75, Noviembre 1979.

La mayoría de los minerales de la arcilla tienen una estructura laminar, y pueden entre sus láminas intercalar moléculas orgánicas formando **compuestos interlaminares o de intercalación**. Las moléculas orgánicas entre las láminas se ordenan, según su naturaleza química y la de la superficie interlaminar, se sitúan paralelas a las láminas en forma de una o dos capas, o bien perpendiculares, formando una o dos capas, con los grupos polares en contacto con la superficie de las arcillas o con los cationes interlaminares (cationes de cambio iónico), cuya finalidad es neutralizar la carga negativa de la lámina.

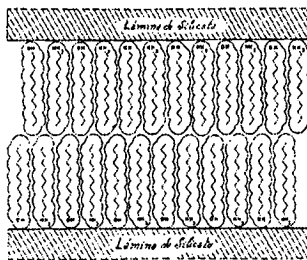
Si se introduce entre las láminas mezclas de sustancias orgánicas, también se ordenan en función de las proporciones moleculares que hay entre ellas, o bien la arcilla las selecciona tomando solamente uno de los componentes de la mezcla.

De este modo, cuando se forman grandes cantidades de compuestos orgánicos en la etapa prebiótica como consecuencia principalmente de la radiación ultravioleta que caía sobre la Tierra, podemos imaginar a las arcillas como depósitos o almacenes de productos orgánicos en el que están todos en función de sus grupos polares, longitud y forma geométrica del hidrocarburo unido al radical polar.

Debido a la variedad de arcillas y posibles cationes interlaminares de las mismas, todas las mezclas posibles de compuestos orgánicos estarían empaquetadas entre sus láminas, y se conservarían de este modo por tiempo indefinido. Al actuar las arcillas como minúsculos laboratorios en gran número, se producirá gran variedad de reacciones orgánicas que darían lugar a polímeros cada vez más complejos. Algunas de estas reacciones han sido conseguidas en el laboratorio por nosotros¹¹.

Hay que destacar la importancia que tienen hoy las arcillas en la industria como catalizadores de reacciones químicas. En el laboratorio hemos estudiado el fenómeno de la sorción interlaminar con otras sustancias de estructura laminar que no son silicatos, como el óxido grafitico, el ácido bórico y el cianuro de níquel. Todos ellos son compuestos, que si bien no son minerales en este planeta, sí pueden serlo en otros sistemas extraterrestres; pensemos que Júpiter tiene en su superficie gran cantidad de amoniaco y metano en estado sólido o líquido por su baja temperatura, por lo que sustancias químicas que aquí no son minerales pueden serlo en este planeta.

El estudio de las sustancias inorgánicas antes citadas, que no son arcillas sino compuestos preparados en el laboratorio, sirven para informarnos que los compuestos de intercalación de moléculas orgánicas se extienden más allá de campo de las arcillas, y que pueden haber funcionado como etapas prebióticas en otros sistemas galácticos sin entrar en juego los minerales de la arcilla.

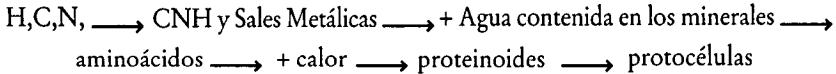


Compuesto de intercalación de alcohol e ión amonio alquílico en un silicato laminar (posible mineral de la arcilla).

Según S. W. Fox y K. Harada (1981), la investigaciones de F. Aragón y C. Barbolla (1979)¹², ponen de manifiesto a partir de cianuro potásico la formación de aminoácidos y su autointercalación en el mineral de la arcilla, montmorillonita; esto supone que para la formación de aminoácidos, a partir de una solución de cianuro potásico en presencia del mineral antes citado no es

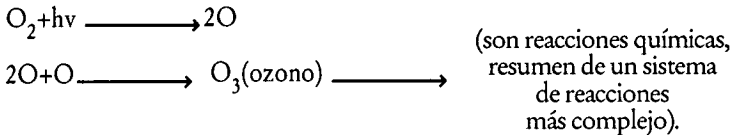
necesario la presencia de atmósfera gaseosa. Siguiendo las pautas prebióticas no se precisa una atmósfera gaseosa, ni un planeta o satélite con fuerza gravitatoria suficiente para retener dicha atmósfera (S. L. Miller 1953).

Esquema de Fox y Harada(1981):



El ozono y la conservación de la vida en la Tierra

Sabemos que el oxígeno que hoy rodea la corteza terrestre es de origen biológico, como consecuencia de la función clorofílica. Luego una vez aparecidos los organismos vivos sobre la Tierra, en la atmósfera reductora, por evolución adquirirían la propiedad de tomar dióxido de carbono de la atmósfera, y desprender oxígeno, que iría desplazando la atmósfera reductora y además, en las capas superiores (estratosfera), el oxígeno formado consume radiación ultravioleta, para transformarse en la forma alotrópica llamada ozono:



La capa de ozono que hoy existe en las capas superiores de la atmósfera actúa como una gran sombrilla que nos protege de la radiación ultravioleta. Su papel es tan importante que si desapareciera, la radiación ultravioleta que caería sobre la superficie de la Tierra sería de tal intensidad que la vida desaparecería de ella. Luego la existencia de oxígeno de origen biológico, creó una situación irreversible, cambiando las condiciones que había cuando se produjeron las síntesis prebióticas.

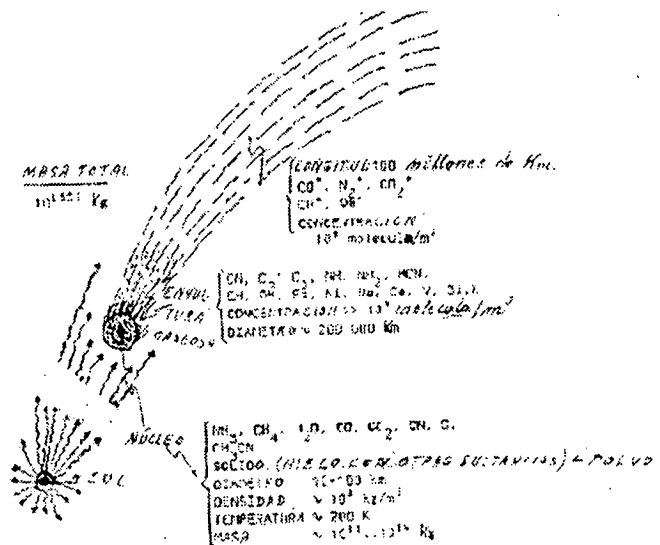
A partir de estos organismos vivos muy primitivos, por evolución biológica se alcanzaría el estado actual en la historia de este planeta, cuya continuación y desarrollo en el futuro, o su destrucción, (pensemos en el papel tan importante que desempeña el ozono en la estratosfera como protector de la radiación ultravioleta), depende del hombre.

Los Cometas y el origen de la vida

Cuando un cometa se aproxima al Sol tiene un cuerpo sólido central, de aproximadamente 10 kms de diámetro, y una envoltura gaseosa relativamente densa que se prolonga en forma de cola. el núcleo, parte sólida del cometa, podría considerarse como un trozo de «hielo sucio», pues consiste en una mezcla de hielo con metano sólido CH_4 , amoníaco sólido NH_3 , y óxidos de carbono sólidos CO y CO_2 , partículas de hierro y dióxido de silicio SiO_2 ; cuando el cometa está del Sol una distancia inferior a tres unidades astronómicas, (150 millones Km./unidad, que es la distancia media Sol-Tierra), el núcleo del cometa lanza moléculas gaseosas y radicales tales como CN , CH , NH , OH , C_2 , C , a la envoltura gaseosa, la reactividad de algunas de estas especies químicas detectadas, indica que un número de compuestos bioquímicos tales como aminoácidos, purinas, piridinas etc., pueden estar presentes en el núcleo del cometa, sin embargo debido a su pequeña masa, 10^{15+3} Kg., baja temperatura, (menos de 200 K°), y otras condiciones ambientales como ausencia de una propia atmósfera, hidrosfera, y litosfera, como en la Tierra no parece que los procesos de síntesis orgánica en cometas, se sitúen más allá de estas moléculas.

Cuando el cometa está más cerca del Sol, la difusa y larga cola aparece, (100 millones de Km. de longitud), y ésta contiene en adición a lo anterior, iones semi-estables, CO^+ , N_2^+ , CH^+ , OH^+ , H_2O^+ , que se producen por el impacto de la radiación ultravioleta del Sol y el viento solar.

La posibilidad de colisión entre los cometas y los planetas, aunque pequeña, debe tenerse en cuenta; de modo especial en



Los cometas transportadores de moléculas orgánicas de interés biológico, cuya aportación molecular a la Tierra, hay que considerar en las primeras síntesis prebióticas (1961, Oró), junto a la hipótesis de Urey-Miller (1953), de una atmósfera terrestre reductora y descargas eléctricas.

el caso de la Tierra, pues en las primeras etapas de formación del sistema planetario, pudieron ser frecuentes este tipo de colisiones, y ser importantes en la evolución química de la atmósfera e hidrosfera de nuestro planeta, y por lo tanto en el origen de la vida en él¹³.

¿Hay vida fuera del sistema solar?

Se ha estudiado la probabilidad de encontrar planetas semejantes a la Tierra fuera de nuestro sistema planetario. Las clases más corrientes de planetas habitables deben ser similares a la Tierra, en muchos aspectos, (sin necesidad de tener un satélite algo grande como la Luna).

El modelo de planeta habitable debe ser aproximadamente de la misma masa de la Tierra, tendrá una atmósfera análoga, un ciclo similar de noche y día, una estrella (sol), de tamaño y apariencia aproximada, lo mismo en lo referente a la inclinación de su línea ecuatorial, y la excentricidad de su órbita alrededor de su estrella.

Dado que nuestra Galaxia tiene un volumen de $1'6 \cdot 10^{12}$ persecs cúbicos, (un persec es igual a $3'26$ años luz, o sea $3'08 \cdot 10^{18}$ Km), según cálculos astronómicos, siguiendo las anteriores condiciones, el número total de planetas habitables en nuestra Galaxia es de unos seiscientos millones (planetas semejantes a la Tierra donde hay vida), y existen incontables millones de Galaxias en lo que llamamos nuestro Universo, luego no estamos solos pero sí aislados.

Las 14 estrellas con mayores probabilidades de tener planetas habitables en orden de distancia de la Tierra		
Estrella	Distancia de la Tierra (años luz)	Probabilidad 1 es la certeza
Alfa centauro A	4,3	0,054
Alfa centauro B	4,3	0,057
Epsilon Eridano	10,8	0,033
Tau Ballena	12,2	0,036
70 Ofiuco A	17,3	0,057
Eta Casiopea A	18,0	0,05
Sigma Dragón	18,2	0,036
36 Ofiuco A	18,2	0,023
36 Ofiuco B	18,2	0,020
HR 7703 A	18,6	0,020
Delta Pavo	19,2	0,057
82 Eridano	20,9	0,057
Beta Hidra macho	21,3	0,037
HR 8832	21,4	0,011

**En el caso de estrellas binarias como A . B Alfa Centauro las probabilidades se pueden sumar, y sería la probabilidad 0,107, o sea un diez por ciento*

Tabla II.- *Tabla tomada de Stephen H. Dole (1972)*

Número supuesto de planetas habitables (N) de una esfera de radio (R) a partir del Sol	
R (años luz)	N
27,2	1
34,3	2
46,5	5
58,5	10
100,0	50

Tabla III.- *Tabla tomada de Stephen H. Dole (1972)*

La mayor parte de los fenómenos físicos y meteorológicos con los que estamos familiarizados (estaciones del año, océanos de agua, vientos, puestas de Sol, terremotos, lluvias, montañas, valles, desiertos etc...) deben de existir en la mayor parte de los planetas habitables. Por supuesto, tratándose de organismos vivientes indígenas de estos planetas, pueden ser marcadamente diferentes, de acuerdo con el curso que siguió la evolución biológica en cada planeta.

Esta diferente evolución, no impedirá encontrar organismos portadores de fotosíntesis, y formas vegetales y animales capaces de invadir todo espacio ecológico que resulte apto para seres marinos, criaturas de tierra firme o aptas para volar.

Quiero destacar, que como consecuencia de una evolución diferente para cada uno de los planetas habitables, es posible no encontrar ninguno de los tipos, clases, órdenes, géneros o especies de plantas o animales con los que estamos familiarizados en la superficie de la Tierra. (Papagiannis, 1980; y Ponnameruma, 1983).

Un avance en los estudios sobre física teórica, experimental y ciencia de materiales, que permita pasar la barrera de la velocidad de la luz que se deduce de la teoría de la relatividad publicada por Einstein en 1905, y que a esa velocidad la masa inerte se hace infinita y el tiempo del viajero se hace cero; si ese desarrollo teórico y técnico (en cuanto a los materiales para la construcción de los artefactos), sea realidad, la comunicación y posibilidad de visita a tales planetas sería posible.

Hay que tener en consideración el coste de estas expediciones, tan elevado que aunque ya resuelto el problema científico y técnico, la situación económica del grupo de Estados dispuesto a realizarlo, lo impediría; algunos científicos estudiosos del tema han apuntado esta posibilidad, pero desde

A Production of Amino Acids Under Possible Primitive Earth Conditions

Stanley L. Miller^{1,2}

G. H. Jones Chemical Laboratory,
University of Chicago, Chicago, Illinois

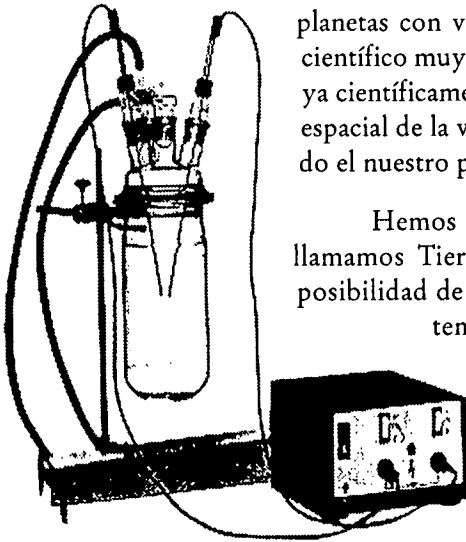
The idea that the organic compounds that serve as the basis of life were formed when the earth had an atmosphere of methane, ammonia, water, and hydrogen instead of carbon dioxide, nitrogen, oxygen, and water was suggested by Oparin (1) and has been given emphasis recently by Urey (2) and Bernal (3).

In order to test this hypothesis, an apparatus was built to circulate CH_4 , NH_3 , H_2O , and H_2 past an electric discharge. The resulting mixture has been tested for amino acids by paper chromatography. Electrical discharge was used to form free radicals instead of ultraviolet light, because quartz absorbs wavelengths short enough to cause photo-dissociation of the gases. Electrical discharge may have played a significant role in the formation of compounds in the primitive atmosphere.

The apparatus used is shown in Fig. 1. Water is boiled in the flask, mixes with the gases in the 5-l flask, circulates past the electrodes, condenses and empties back into the boiling flask. The U-tube prevents circulation in the opposite direction. The acids

¹ National Science Foundation Fellow, 1952-53.

² Thanks are due Harold C. Urey for many helpful suggestions and guidance in the course of this investigation.



Aparato de Miller para síntesis de aminoácidos en condiciones prebióticas, de venta en el comercio, para prácticas de alumnos

planetas con vida inteligente que con un desarrollo científico muy superior al nuestro con este problema ya científicamente resuelto, desistan de esta aventura espacial de la visita a otros planetas habitados incluido el nuestro por el coste económico del proyecto.

Hemos aparecido en este planeta que hemos llamamos Tierra, y no es un disparate aceptar la posibilidad de vida inteligente fuera de nuestro sistema planetario, pero por ahora estamos aislados, pienso no en el deseo de recibir mejoras técnica sino en la ilusión de que nos trajeran mejoras éticas no para unos pocos pues esto ya existe en la Tierra, sino que lo recibiera como un regalo toda la humanidad, y que tuvieran la capacidad de hacer desaparecer todas las miserias que hoy hay en nuestro planeta,

y que, somos incapaces de erradicar.

Pensemos que hasta el año 1492 de la era cristiana, no hubo una técnica e inquietud intelectual y científica como para descubrir el Nuevo Mundo, y tomar contacto con otros seres humanos dentro de nuestro planeta, con una cultura y civilización distinta a la nuestra, incluso con flora y fauna diferente.

NOTAS

1. MCKIE, DOUGLAS (1944) «Wöhler synthesis urea and the rejection of vitalism: a chemical legend», *Nature*, 153, 613 ss.; según este autor, el análisis de los trabajos publicados, libros, correspondencia, etc..., por los químicos de esta generación, indica la aceptación de una fuerza vital, en los compuestos orgánicos; la interpretación posterior (siglo XX) de estos trabajos, ha visto en esta experiencia la destrucción del concepto de «fuerza vital».
2. J.M. López Piñero, V. Navarro y E. Portela; «La Revolución científica», ed. Historia 16 (1989), p. 205.
3. Douglas McKie. Ver nota 1.
4. Ver nota 3

5. *Ibidem*.
6. *Ibidem*.
7. Juan Oró, recibió su licenciatura en Ciencias Químicas, en la Universidad de Barcelona, en 1947, y su doctorado en Bioquímica en el Baylor, College de Medicina (USA), en 1956. Ha llegado a ser «Full Professor» en el Departamento de Ciencias Biofísicas y Química de la Universidad de Houston. Su investigación ha estado orientada hacia el análisis de muestras lunares y de meteoritos, así como la síntesis de compuestos orgánicos en las posibles condiciones primitivas de la Tierra, con la finalidad de conocer mejor el problema del origen de la vida. Fue miembro del Equipo de Análisis Molecular (MAT) del Proyecto «Viking» de la NASA.
8. Cyril Ponnampерuma nació en Sri Lanka (Ceilán), estudió en Sri Lanka e India y obtuvo su primer título universitario (BA), en la Universidad de Madras. Luego fue a Londres en 1959. El mismo año pasó a la Universidad de California, Berkeley, a investigar bajo la dirección del Prof. Melvin Calvin. En 1962, obtuvo el título de Doctor (PhD) en Química y comenzó a trabajar en la NASA. En 1971 fue nombrado Profesor de Química y Director del Laboratorio de Evolución Química de la Universidad de Maryland.
9. J.D.Bernal, nació en Irlanda en 1901, estudió Física en la Universidad de Cambridge (Emmanuel College). Su primer trabajo de investigación formal lo realizó en el laboratorio Davy-Faraday bajo la dirección de Sir Willian Bragg. Fue Profesor de Cristalografía del Birkbeck College de la Universidad de Londres, hasta su muerte. Su campo de investigación fue muy amplio: desde el estudio de estructuras cristalinas de aminoácidos, proteínas, y virus hasta el origen de la vida, la composición de los meteoritos y la Historia social de la Ciencia. «*The Physical Basis of Life*» *Proceeding of the Physical Society, section A*, 62, (537-558), (1949).
10. Douglas MacEvan, nació en Edimburgo (1918), y obtuvo su doctorado en Física en la Universidad de Edimburgo, bajo la dirección del Prof. Beever, cristalógrafo de la escuela de Bragg. Trabajó como investigador principal en cristalografía de minerales de la arcilla en «*The Macalauy Institute for Soil Research*», Aberdeen, y en el «*Rothamsted Experimental Station*», Hapenden (U.K.). Ha desarrollado la cristalografía de estos minerales con métodos propios, e inició la investigación cristalográfica de los compuestos de intercalación o interlaminares de moléculas orgánicas.
11. Aragón de la Cruz, F. y Vitón Barbolla, C. en «Formación de aminoácidos a partir de la hidrólisis de cianuro potásico en presencia de montmorillonita o de óxido grafitico» *Anales de Química R.S.E.F.Q.*, 75, pp. 820-826, 1979, demuestran, la posibilidad de síntesis prebióticas de aminoácidos en presencia de arcillas sin necesidad de atmósfera reductora, el trabajo fue recogido en «*Amino acids from the Moon: notes on Meteorites*», por S.W. Fox y K. Hadara, capítulo 8, del libro *Subcellular Biochemistry*, 8, edit. D.B. Roodyn, Plenum Press, New York, 1981.
12. Ver nota 11.

13. Las bases astronómicas del origen de la vida, y la llegada de macromoléculas orgánicas a la Tierra, por medio de los cometas, es una teoría desarrollada por Fred Hoyle, astrónomo inglés, y publicada en su libro «Lifecloud, the origin of life in the universe,» edit. J.M.Dent and Sons, Ltd. Londres, 1978, en colaboración con N.C. Wickramasinghe, hay traducción al español (1982). También, ver «Comets and the origin of life», simposio sobre este tema, celebrado en la Universidad de Maryland, (USA), editado por C. Ponnameruma, Reider Publ. Comp. Boston, 1981.

BIBLIOGRAFÍA

- ARAGÓN DE LA CRUZ, F. & VITÓN BARBOLLA, C. (1979) «Formación de aminoácidos a partir de la hidrólisis del cianuro potásico en presencia de montmorillita u óxido grafitico». *Anales de Química R.S.E.Q.*, 75, 820-826.
- BERNAL, J.D. (1949) «The physical basis of life». *The proceeding of the Physical Society, section A*, 72 (9), 537-558.
- DOLE, S. H. (1968) *Habitable Planetes for Man* [Edición en español: DOLE, S.H. (1972) *Planetas habitables*. Editorial Labor, pp. 140 y 146.]
- FOX, S.W. & HADARA, H. (1981) «Subcellular Biochemistry». En: Roodyn D.B. (ed.) *Amino acids from the Moon: notes on meteorites*. New York, Plenum Press, cap. 8.
- HALDANE, J.B.C. (1929) «The origin of life». En: J.D. Bernal (1967) *The origin of life*. London, Richard Carrington (ed.).
- HOYLE, F. & WIKRAMASINGHE, N.C. (1978) *Lifecloud, the origen of life en el Universe*. London, J.M. Dent & Sons LTD.
- LÓPEZ PIÑERO, J.M. & NAVARRO V. & PORTELA, E. (1989) *La revolución científica*. Madrid, Editorial Historia 16.
- MACEWAN, D.M.C. (1948) «Complexes of clays with organic compounds I». *Trans. Faraday Soc.*, 44, 349-367
- MACEWAN, D.M.C.(1962) «Interlamellar reactios of clays and other substances». *Ninth National Confernce on clays and clay minerals*, USA, 431-443; este trabajo lo cita J.D. Bernal en su libro *The origin of life*, London, Richard Carrington, 1967.
- MILLER, S.L. (1953) «A production of amino acids under possible primitive Earth conditions». *Science*, 117, 528-529.
- MILLER, S.L. (1955) «Production of some organic compounds under possible primitive Earth conditions». *J. Am. Ch. Soc.*, 77, 2351-2361.
- MILLER, S.L. (1957) «The mechanism of synthesis of amino acids by electric discharges». *Biochimica et Biophysica Acta*, 23, 480-489.
- MILLER, S.L. y UREY, H.C. (1959) «Organic compounds síntesis on the primitive Earth». *Science*, 130, 245-251.
- MILLER, S.L. (1974) «The atmosphere of primitive Earth and the prebiotic synthesis». *Origin of life*, 5, 139-151.

- OPARIN, A.I. (1924) «The origin of life». Traducción por Ann Syngé. Proiskhozhdenie zhizny. Moscow, Moscow. Izd. Moskovshii. En: J.D. Bernal (1967) *The origin of life*. London.
- ORÓ, J. (1960) «Synthesis of adenine from ammonium cyanide». *Biochemical and biophysical research communications*, 2(6), 407-411.
- ORÓ, J. & KAMAT, S.S. (1961) «Amino acids synthesis from hydrogen cyanide under possible primitive Earth conditions». *Nature*, 190, 442-443.
- ORÓ, J. (1961) «Comets and the formation of biochemical compounds on the primitive Earth». *Nature*, 29 de abril, 389-390.
- PAPAGIANNIS, M.D. (Ed.) (1980) *Strategies for the search for life in the Universe*. Reider Publishing Company.
- PONNAPERUMA, C. & GABEL, N. (1967) «Model for origin of monosacharides». *Nature*, 216, 453-455.
- PONNAMERUMA, C. (Ed.) (1981) *Comets and origin of life*. Boston, Ed. Reider Publ. Comp.
- PONNAMERUMA, C. (Ed.) (1983) «Cosmochemistry and Origin of Life». En: *Proceeding of NATO, Advanced Study Institute held at Maratea, junio, 1981, Italy*. Edit. Reider Publishing Company.
- UREY, H.C. (1952) «On the early chemical history of the Earth and the origin of life». *Proc. Nat. Acad. Sci. (USA)*, 38, 351-363.
- SAGAN, S.; THOMPSON, W.R. & KHARE, B.N. (1992) «Titan: A laboratory for prebiological organic Chemistry» *Acc. Chem. Res.*, 25, 286-292.