

¿Cómo se originaron las condiciones de la tierra primitiva?

# Evolución química y síntesis abiótica

ALICIA NEGRON-MENDOZA\*

## I. INTRODUCCION

El problema del origen de la vida tiene muchas facetas y se ha estudiado desde varios puntos de vista. No fue sino hasta principios de este siglo que se iniciaron los estudios científicos con este objetivo. La contribución de la química a estos estudios son a través de la llamada *Evolución Química*, que es el proceso postulado para explicar la formación de compuestos orgánicos de interés biológico en condiciones abióticas. Aquel término connota los eventos físicos y químicos que sirvieron como preámbulo a la emergencia de formas reconocibles como vivientes.

La hipótesis propuesta por Oparin y Haldane es el punto de partida de estos estudios. De acuerdo con esta hipótesis, la acumulación de materia orgánica en la superficie terrestre, su transformación en moléculas más complejas y la formación de sistemas que se repliquen son factores que permitieron la formación de seres vivos. Un punto importante en esta hipótesis es la consideración de que las moléculas importantes para la vida actual también lo fueron en el tiempo en que se originó ésta. De acuerdo con las evidencias más recientes, el periodo más importante de la evolución química duró menos de mil millones de años y comprende desde la formación de la Tierra hace 4 750 millones de años, a la aparición del fósil más antiguo conocido y que es de ~ 3500 millones de años. Después el grado de síntesis disminuyó considerablemente.

## II. SINTESIS ABIOTICA

Para estudiar con más detalle el origen de los compuestos orgánicos y finalmente el origen de la vida, se tienen dos fuentes el análisis químico, que nos referirá la historia de lo que ha pasado en la Tierra a través de los registros fósiles, análisis de sedimentos e información geológica. También se obtiene información de cuerpos extraterrestres, ya sea por análisis directos o bien por medio de satélites y radiotelescopios.

\* Centro de Estudios Nucleares, UNAM  
Circuito Exterior, C.U.



El segundo enfoque es el de síntesis química. Se basa en agrupar la información analítica, tratando de imitar las condiciones de la *Tierra Primitiva* y llevar a cabo una reacción química. A este tipo de reacciones se le ha llamado *Síntesis Abióticas* o *Experimentos simulados*. Estas síntesis abióticas son un modelo químico que tiene como objetivos:

1. Detectar la formación de compuestos de importancia para la vida en condiciones que simulen la *Tierra Primitiva*.
2. Estudiar las fuentes de energía que puedan llevar a cabo estas síntesis.

## III. CARACTERISTICAS DE LA TIERRA PRIMITIVA

En la discusión sobre la evolución química surge un gran número de preguntas respecto al ambiente existente en las primeras etapas de formación de la Tierra, la naturaleza de la atmósfera, la cantidad de energía accesible para las síntesis orgánicas, la

temperatura, la escala de tiempo, el pH de los océanos, etc. Aunque existe mucha especulación en el tema y las respuestas exactas son desconocidas, hay evidencias provenientes de muy diversas disciplinas que nos presentan un panorama general sobre las condiciones bajo las cuales estas síntesis tuvieron lugar.

**1. Escala de Tiempo.** De acuerdo con las presentes evidencias, el tiempo requerido para la evolución química puede ser considerado menor que  $1 \times 10^9$  años. Esta cifra está basada en las propuestas más recientes sobre el origen de la Tierra, cerca de  $4.75 \times 10^9$  años y la emergencia de la vida, alrededor de  $3.5 \times 10^9$  años, dato calculado por el descubrimiento de microfósiles en Overwatcht, con edades entre  $3.2 \times 10^9$  años y que dan testimonio sobre la antigüedad de la vida.

Después del origen de la vida, la evolución química probablemente decreció rápidamente debido a que los compuestos químicos producidos abióticamente fueron consumidos por los primeros organismos.

**2. Naturaleza de la Atmósfera Primitiva de la Tierra.** Uno de los puntos más importantes para la discusión de la evolución química concierne a la naturaleza de la atmósfera primitiva, la cual proporcionó la materia prima para la síntesis.

Actualmente se piensa que el sistema solar se formó por el colapso gravitacional de una nube de gas, helio y polvo. Dada la composición elemental del sol podemos suponer que la nebulosa que le dio origen estaba formada en un 99% de hidrógeno, helio; los elementos restantes constituían sólo una parte pequeña. Al formarse la Tierra pudo haber heredado una atmósfera compuesta de  $H_2$  y He. Sin embargo la proporción de estos elementos volátiles es muy baja en relación a su abundancia solar, lo cual sugiere que esta atmósfera primaria se perdió muy tempranamente. Esto dio origen a una atmósfera secundaria como resultado de las emanaciones volcánicas.

Generalmente se acepta que la atmósfera primitiva contenía oxígeno sólo en trazas, pero puntos de vista muy diversos han sido expresados con relación a su carácter reductor (un reductor es una sustancia capaz de aceptar electrones).

A pesar de las diferencias en los modelos propuestos de la atmósfera, por ejemplo los de Walker y Holland, éstos coinciden en lo esencial: la atmósfera primitiva carecía de oxígeno libre, el cual sólo posteriormente habría acumulado gradualmente a partir de la aparición de la fotosíntesis y por las reacciones de fotodisociación del agua. Ello implica que el carácter oxidante de la atmósfera actual es relativamente reciente.

**3. Fuentes de Energía.** Diferentes fuentes energéticas han sido propuestas como contribuyentes a las síntesis orgánicas durante la evolución química. La Tabla I resume las fuentes energéticas principales.

La importancia relativa de una fuente energética en las síntesis abióticas está en función de su abundancia y distribución en la corteza terrestre, océanos, etc., y en su eficiencia para inducir reacciones químicas.

La eficiencia de una fuente de energía es la resultante de dos consideraciones: el porcentaje de transformación de reactantes en productos, y si una vez formados los productos, estos últi-

**TABLA I**  
**ENERGIA DISPONIBLE**  
**PARA LA SÍNTESIS DE COMPUESTOS ORGÁNICOS**

FUENTES	ENERGIA (CAL CM <sup>2</sup> AÑO <sup>-1</sup> )	EXPERIMENTOS SIMULADOS
RADIACION SOLAR (Luz Ultravioleta)	570	LAMPARAS U.V.
RELAMPAGOS	4	DESCARGAS ELECTRICAS
RADIOACTIVIDAD	0.8	CICLOTRON FUENTES GAMMA
CALOR DE VOLCANES	0.13	HORNOS

mos pueden escapar de la acción destructiva de la fuente. Sin duda la luz ultravioleta proveniente del sol fue la fuente más abundante para las síntesis abióticas. Sin embargo, por sus características tales como penetración, longitud de onda específica, etc., la mayoría de las reacciones químicas que provoca ocurrirían en las capas superiores de la atmósfera y los productos formados pudieron ser destruidos antes de alcanzar la Tierra. Por el contrario, otra de las fuentes propuestas como son las descargas eléctricas, tendrían su campo de acción muy cerca de la superficie de los océanos y con ello habría una protección de los productos formados; pero su acción sería muy localizada.

Muchas otras fuentes energéticas han sido propuestas, tales como la radiación proveniente de elementos radiactivos, rayos cósmicos, la energía sónica generada por las ondas en los océanos y ondas de choque producidas por el paso de un meteoro a



través de la atmósfera y su impacto con la superficie de la hidrósfera. Sin embargo no se les ha dado la importancia que merecen y en algunas de ellas es difícil de evaluar la magnitud con la cual contribuyeron.

Tradicionalmente a la radiación proveniente de elementos radiactivos naturales se le ha considerado como una fuente energética no importante en evolución química. Existen numerosos argumentos que muestran la necesidad de re-evaluar el papel que la radiación ionizante tuvo en la Tierra Primitiva para inducir reacciones químicas. La Tabla II resume algunas fuentes de energía ionizante.<sup>2</sup>

4. **Temperatura de la Tierra.** Es comúnmente aceptado que después de la acrecentación, la temperatura promedio sobre la superficie de la Tierra Primitiva no fue nunca apreciablemente

5. **pH de la Hidrósfera.** Actualmente en los océanos el pH tiene una variación muy pequeña, su valor medio es 8.1. Sobre el modelo de equilibrio de las nuevas fases, Sillen en 1967 concluyó que el pH de los océanos ha permanecido relativamente cercano a 8 a través de toda la historia de la Tierra.

Resumiendo, las principales características de la Tierra Primitiva son las siguientes: una atmósfera reductora con trazas de oxígeno molecular, un océano con pH básico y una temperatura moderada.

#### IV. LA EVIDENCIA NATURAL

Actualmente existen evidencias de procesos de evolución química en otros sitios fuera de la Tierra, y esto nos sirve para entender más sobre la formación de compuestos en la Tierra

TABLA II	
Fuentes de Radiación Ionizante En la Tierra Primitiva*	
Fuentes	Comentarios
<b>Seguras</b>	
40K	Vida Media $1.31 \times 10^9$ Años
232Th	Vida Media $1.41 \times 10^{10}$ Años
235U	Vida Media $0.7 \times 10^9$ Años
238U	Vida Media $4.5 \times 10^9$ Años
244Pu	Vida Media $7.6 \times 10^7$ Años
Viento Solar	Importantes sobre todo antes de la formación del campo magnético terrestre
Rayos Cósmicos	
<b>Probables</b>	
Reactores nucleares naturales y varios núcleos radioactivos que eran producidos por los procesos de fisión natural en cadena.	Se producen las mismas radiaciones y radioelementos que en los reactores nucleares artificiales.
<b>Posibles</b>	
Elementos superpesados en la isla de la estabilidad con números atómicos entre 116 y 124.	Vidas medias calculadas teóricamente entre $10^6$ y $10^9$ . Cálculos más recientes dan $10^7$ como máximo.

\* Draganic y Draganic (1978)



mayor que el valor contemporáneo, cerca de 300°K, aunque la presencia de actividad volcánica en las regiones localizadas, en donde la temperatura hubiese sido elevada, pudieron haber sido importantes en la formación de compuestos bio-orgánicos.

Por otro lado, las temperaturas bajas pudieron haber permitido la permanencia de moléculas tales como proteínas, las cuales son rápidamente desnaturalizadas por el calor.

Primitiva, conocer cómo fue el ambiente en ella, cómo se originó ésta y finalmente cuál fue el origen del Universo. Así los estudios de evolución química se han extendido también al estudio de la química que ocurre en el espacio interestelar, o en otros cuerpos celestes, y es lo que se conoce como *cosmoquímica*. El estudio de los cometas, los meteoritos y la atmósfera de los planetas, nos dan información sobre el origen y evolución del sistema solar.

Estas evidencias naturales apoyan la teoría de Oparin-Haldane. Así como la evolución biológica sugiere que los organismos tuvieron un ancestro común, el modelo sobre evolución química implica que por ser las leyes de la química y la física universales, la materia orgánica en el sistema solar también tiene un origen común.

La Tabla III, tomada de J. Ferris,<sup>1</sup> reúne las moléculas, átomos y otras especies detectadas en el espacio y en otros cuerpos extraterrestres. Claramente se observa la gran diversidad de moléculas presentes, indicando una química muy rica donde ocurren numerosas reacciones químicas. Muchas de estas moléculas e iones han sido detectados en experimentos abióticos.

TABLA III. Átomos, iones y moléculas detectadas en el espacio\*

Espacio Interestelar	Cometas	Condritas Carbonosas	Titán
<b>Hidrocarburos</b> CH, CH <sup>+</sup> , CH <sub>2</sub> , HC <sub>2</sub> , HC <sub>2</sub> H, HC <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C, C <sup>+</sup> , CH, CH <sup>+</sup> , C <sub>2</sub> , C <sub>3</sub>	C <sub>1</sub> a C <sub>20</sub> , Compuestos Alifáticos, Alidclicos y Aromáticos	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> , HC≡C, —C≡CH, CH <sub>3</sub> —C≡CH
<b>Alcoholes</b> OH, H <sub>2</sub> O, CH <sub>2</sub> OH, CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> OH	O, OH, OH <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> O H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O Alcoholes de C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub>	
<b>Aldehídos y Cetonas</b> HCO, HCO <sup>+</sup> , H <sub>2</sub> CO CH <sub>2</sub> CHO	C, CO, CO <sup>+</sup> HCO	Aldehídos y Cetonas de C <sub>1</sub> a H <sub>2</sub> CO	
<b>Ácidos y sus Derivados</b> CO, C <sub>2</sub> O, CH <sub>2</sub> =C=O HCO <sub>2</sub> H, HCO <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	C, O, CO <sup>+</sup> , CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> , CO <sub>3</sub> , CO Ácidos Mono y Dicarboxílicos de C <sub>2</sub> a C <sub>4</sub>	CO, CO <sub>2</sub>
<b>Aminas y sus Derivados</b> NH <sub>3</sub> , CH <sub>2</sub> NH, CH <sub>3</sub> NH <sub>2</sub> , NH <sub>2</sub> CHO, NH <sub>2</sub> CN, HNCO	NH, NH <sup>+</sup> , NH <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub>	Aminoácidos Aminas de C <sub>1</sub> a C <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> N—heterociclos	NH <sub>3</sub>
<b>Nitrilos</b> CN, HCN, HNC, NH <sub>2</sub> CN, C <sub>2</sub> CN, CH <sub>2</sub> =CHCN CH <sub>3</sub> CN, CH <sub>2</sub> C≡C—CN, C <sub>2</sub> C≡C—CN, C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> CN, H(C≡C) <sub>n</sub> CN, n=1—5	CN, CN <sup>+</sup> , HCN, CH <sub>2</sub> CN		HCN, HC≡CCN, (CN) <sub>2</sub>
<b>Misceláneas</b> H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> CS, CS, SO OCS, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NS SeO, N <sub>2</sub> H <sup>+</sup> , CH <sub>3</sub> OCH <sub>3</sub>	H, CS, S, Se H <sub>2</sub> S <sup>+</sup> , Metales	Heterociclos con S y O	H <sub>2</sub>

\* Tomado de Ferris Chen & Eng. News Vol. 62:22-35. (1984)

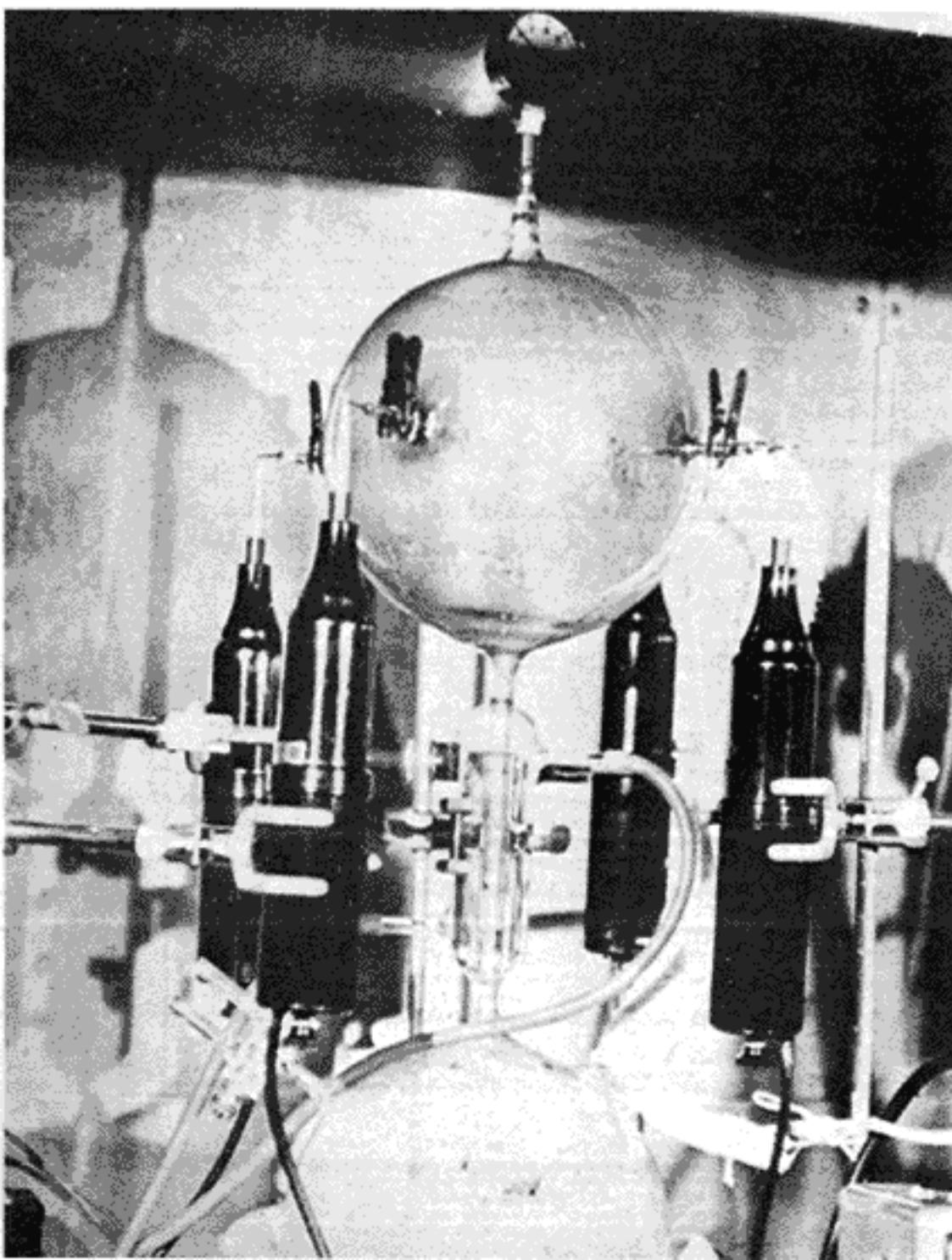
## V. EXPERIENCIAS EN EL LABORATORIO

Una de las premisas importantes en la evolución química establece que los compuestos orgánicos importantes para la vida actual también lo fueron cuando ésta se originó; por ello muchos experimentos abióticos están enfocados a la síntesis de aminoácidos, carbohidratos, bases nitrogenadas, etc., y de macromoléculas tales como proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos, que son los elementos estructurales de los actuales seres vivientes.

Uno de los primeros experimentos en los cuales se mostró la viabilidad de obtener compuestos de importancia biológica en el marco de la evolución química fue el de Miller-Urey en 1953. Para ello se imitó la atmósfera de la Tierra, fuertemente reductora, colocándose en un matraz una mezcla de hidrógeno, amoníaco, metano y vapor de agua (figura 1). Se colocaron electrodos en los que se produjeron descargas eléctricas. Después de una semana la mezcla de reacción se analizó, encontrándose la formación de aminoácidos proteínicos y no proteínicos, urea, ácidos carboxílicos, entre otros compuestos. Este experimento abrió la brecha para que surgieran más experiencias en el laboratorio tratando de sintetizar los compuestos bio-orgánicos que forman a los seres vivos.

Algunos de los compuestos sintetizados no están presentes en seres vivos, en algunos casos inclusive resultan nocivos a éstos; pero son intermediarios clave en la síntesis de moléculas más complejas; tal es el caso del ácido cianhídrico, HCN. Esta molécula sencilla posee gran reactividad química debido al grupo CN. Por esto sufre numerosos cambios químicos bajo la

FIGURA 1.

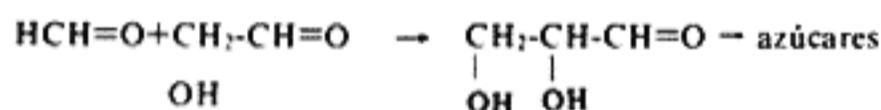


acción de diferentes fuentes energéticas que dan origen a la formación de gran variedad de compuestos de interés biológico: aminoácidos, bases nitrogenadas, etc. (figura 2).

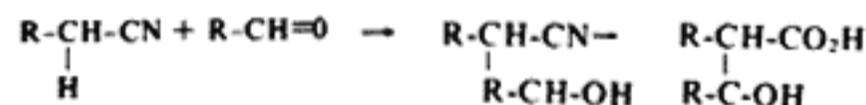
Al diseñar un experimento abiótico se deben tomar en cuenta diferentes factores: 1) tener una idea clara de lo que se intenta sintetizar, ya que con ello también se debe diseñar el esquema de análisis de los productos; 2) se puede partir de los gases que constituían la atmósfera primitiva de acuerdo a los diferentes modelos que se han propuesto para ella: desde una atmósfera fuertemente reductora hasta otra moderadamente reductora; o bien a partir de compuestos que ya han sido obtenidos a partir de experimentos prebióticos anteriores o moléculas que hayan sido detectadas en el espacio interestelar. Una extensión a estos trabajos es el simular la atmósfera de otros planetas o sus satélites.

Es relativamente común que en el seno de las mezclas producidas al efectuar una síntesis abiótica se formen células conteniendo grupos ciano, -CN; carbonilo,  $\text{>C}=\text{O}$ ; amino, -NH<sub>2</sub>; etc. Muchas veces son este tipo de compuestos los que originan los productos finales, ya que por estar en un pH alcalino sufren reacciones de condensación (unión de dos moléculas eliminando una molécula pequeña tal como H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, etc.), muy conocidas en química orgánica.<sup>4</sup>

Por ejemplo, partiendo de una molécula conteniendo un grupo carbonílico  $\text{>C}=\text{O}$ , como es el formaldehído  $\text{HCH}=\text{O}$ , éste se puede condensar y formar carbohidratos:



O bien si reacciona con nitrilos del tipo  $\text{RCH}_2-\text{CN}$  forma hidroxiácidos:



En forma análoga se ha presentado la síntesis de aminoácidos.

Cabe mencionar que muchos de los mecanismos que se han propuesto por parte de la mayoría de los autores para este tipo de experimentos son simplificaciones muy drásticas; no siempre han considerado, por ejemplo en el caso de los experimentos con descargas eléctricas, la gran cantidad de energía que se le suministra al sistema, formándose entidades muy reactivas como son los radicales libres (moléculas conteniendo un electrón desapareado), moléculas excitadas, iones, etc. (figura 3) y que no necesariamente siguen, por ejemplo, la conocida síntesis de Strecker para la formación de aminoácidos.<sup>1</sup>

Con la gran variedad de experimentos abióticos realizados hasta la fecha se han sintetizado compuestos de importancia biológica; aminoácidos, bases, ácidos grasos, etc. El lector interesado en los detalles para la síntesis de estos compuestos puede consultar, por ejemplo, Miller y Orgel.<sup>1</sup> Un listado de algunas de las síntesis más relevantes se presenta en la Tabla III.<sup>2</sup>

Son indiscutibles los grandes logros que se han tenido en la síntesis de compuestos de importancia biológica simulando ambientes primigenios o planetas jovianos; éstos han servido

para tener una mejor idea de las condiciones en que aparecieron los primeros seres vivos. Sin embargo, una revisión crítica de la síntesis de muchos compuestos orgánicos, revela que aún se requieren de mejores rutas de síntesis, en las cuales se mejoren sustancialmente los rendimientos y con ello pudiese haber realmente una acumulación de compuestos básicos para la vida.

Así R. Shapiro, de la Universidad de New York, ha cuestionado, por ejemplo, el caso de la síntesis prebiótica de la ribosa,<sup>3</sup> un azúcar de 5 átomos de carbono presente en los ácidos nucleicos. Este compuesto ha sido sintetizado en diferentes experimentos prebióticos; sin embargo, 1) el rendimiento en que se produce representa 1% del material original; 2) los azúcares son inestables en solución acuosa, particularmente si el pH es superior a 7; 3) la reacción de síntesis no se ha logrado en concentraciones de formaldehído menores al 0.01M, por lo cual su acumulación en la Tierra Primitiva sería demasiado baja.

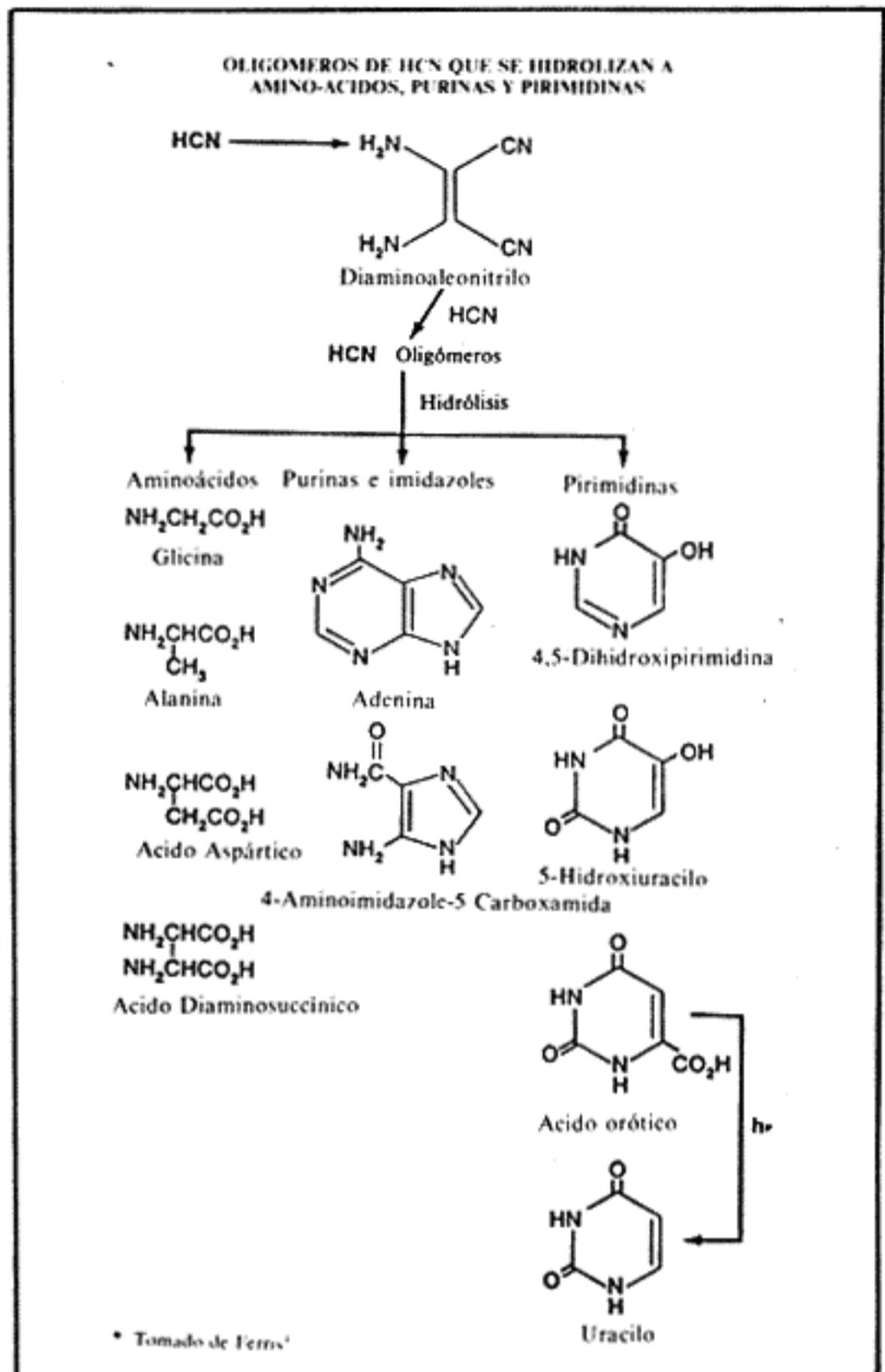
Otra dificultad que es necesario resolver es en relación al origen de los nucleótidos y nucleósidos. Aunque se han logrado síntesis prebióticas para las bases nitrogenadas, el problema de los azúcares anteriormente señalado se manifiesta aquí, aunado a la dificultad de combinar los azúcares y las bases.

En relación a la síntesis de macromoléculas como son las proteínas, los polisacáridos y los ácidos nucleicos, representa un gran reto en los estudios de evolución química dada la complejidad y especialización de estos compuestos.

La investigación de la formación de polipéptidos se inició inmediatamente después de que se estableció que se formaban aminoácidos en experimentos abióticos. El problema fundamental consiste en la condensación de dos moléculas de aminoácidos liberando una molécula de agua y formando un enlace covalente entre ellos, el enlace péptido. Esta reacción no está favorecida en un medio acuoso y se han propuesto diferentes mecanismos de condensación que incluyen el uso de agentes condensantes como la cianamida; el uso de polifosfatos; monómeros *activados* y reacciones térmicas con soluciones concentradas o en estado sólido.

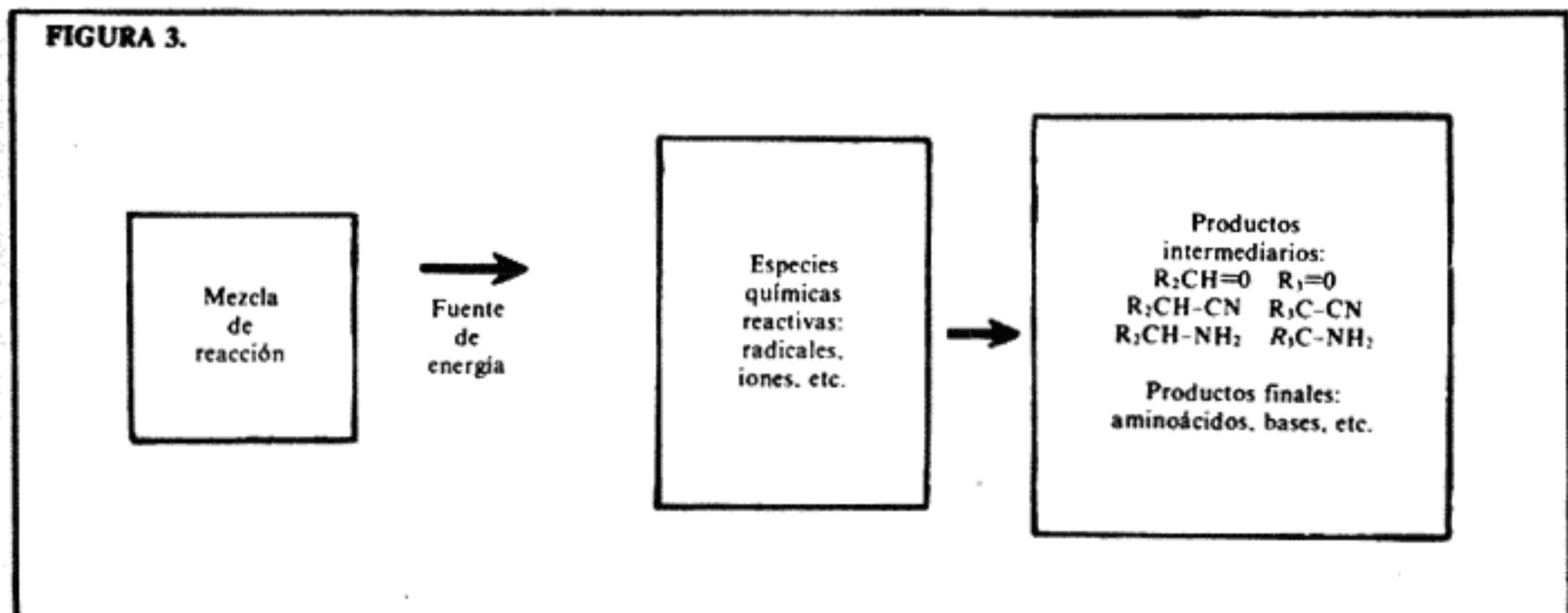
Sidney Fox, considerando la evaporación de charcos, ha estudiado la formación de oligómeros hasta de pesos moleculares de 4000 formados al calentar mezclas de aminoácidos con exceso de lisina, ácido glutámico o ácido aspártico. Draganic y Col obtuvieron un oligómero de glicina de peso molecular  $\pm 20\ 000$  al irradiar con rayos gamma una solución diluida de glicina. También se han realizado experimentos en los cuales la presencia de arcilla cataliza la formación de péptidos.

FIGURA 2.\*



Entre los principales problemas que se han presentado en la síntesis de este grupo de moléculas destacan: a) no todos los enlaces son de tipo peptídico, b) no tienen un orden o secuencia establecido y c) no se ha establecido con certeza si presentan alguna actividad catalítica.

FIGURA 3.





La síntesis de polinucleótidos ha sido estudiada extensamente por el grupo de L. E. Orgel del Instituto Salk. Los resultados más recientes en la síntesis de polinucleótidos es la formación de oligómeros de 30-40 unidades, usando fosfoimidazoles obtenidos a través de imidazol y un trifosfonucleósido. Dada la dificultad de la síntesis de algunos de los componentes de los ácidos nucleicos como son: insolubilidad en los fosfatos, dificultades en la síntesis de la ribosa y de los nucleótidos, deshidrataciones en medios acuosos, el grupo de Orgel ha propuesto análogos simples de nucleótidos como son el glicerol fosfato o pirofosfatos, encontrándose en este último caso que se polimerizaba.<sup>7</sup> Este tipo de síntesis, que está dirigida con moléculas *molde*, tiene una gran perspectiva y un posible avance espectacular en el área de evolución química.

Finalmente mencionaré que en el Centro de Estudios Nucleares, UNAM (CEN-UNAM) existe desde 1976 un grupo de investigación experimental trabajando en problemas de evolución química. Nuestro interés principal se ha enfocado a reevaluar y enfatizar el papel que pudo haber tenido la radiación ionizante para inducir reacciones químicas en la Tierra Primitiva o en el espacio interestelar.

Entre algunos de los temas de interés que se estudian en el CEN-UNAM tenemos:

- La química de soluciones diluidas de ácido cianhídrico y cianuros simples en el contexto de evolución química.
- La síntesis de ácidos carboxílicos importantes en el metabolismo.
- La química de cometas, en la cual nuestra contribución considera los aspectos químicos que pueden llevarse a cabo en el núcleo del cometa mediante la acción de la radiación cósmica.
- Modelos matemáticos e interpretación teórica de problemas de evolución química, en especial sobre reacciones de polimerización.
- Las síntesis abióticas de bases nitrogenadas a partir de nitrilos y cianuros simples. ⊕

#### REFERENCIAS

1. Miller, S. L. y Orgel, L. E. *The Origin of Life on Earth*. New Jersey, Prentice Hall, 1974.
2. Draganic, I. y Draganic, Z. *Rad. Phys. Chem.* 1 195. (1980).
3. Ferris, J. *Chem. & Eng. News* 62, 22-35 (1984).
4. Norman, R. O. C. *Principles of Organic Synthesis*. Methuen and Co, Londres, 1968.
5. Negrón-Mendoza, A. *En Homenaje a Oparin*. Compilación de M. Artis, M. Casanova y N. Chávez. Correspondencia, México, D. F. p. 63-72 (1983).
6. Shapiro, en: *Resúmenes de la V Reunión ISSOL y 8a. Conferencia Internacional sobre el Origen de la Vida*, San Francisco, E. U. p. 107. (1986.)
7. Orgel, L. E. En: *Resúmenes de la V Reunión de ISSOL y 8a. Conferencia Internacional sobre el Origen de la Vida*, San Francisco, E. U. p. 151. (1986.)

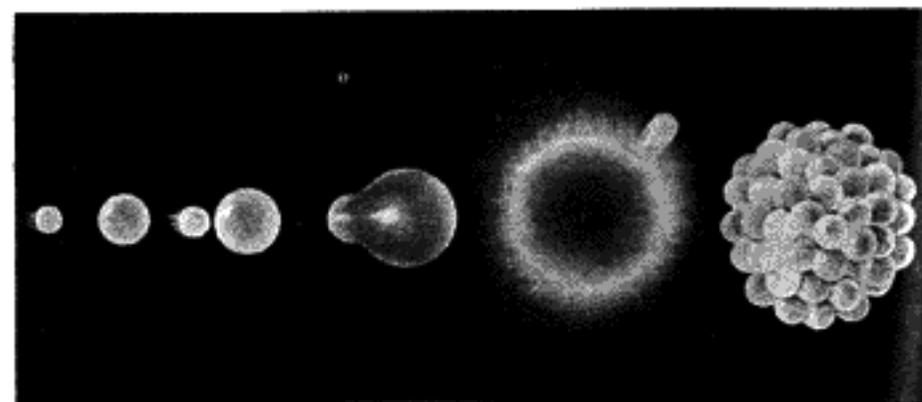


TABLA IV. Obtención de compuestos de importancia biológica por síntesis abiótica\*

AUTOR	AÑO	MEZCLA DE REACCION	FUENTE DE ENERGIA	RESULTADOS
Miller	1953	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Descarga Disruptiva Efluvio	
Bahadur	1954	Formol, KNO <sub>3</sub>	Solar	
Fox	1955	Fumarato y Malato, NH <sub>3</sub>	Calor	
Abelson	1956	CO, N <sub>2</sub> ó NH <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Descarga Disruptiva	
Heyns	1957	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, N <sub>2</sub>	U.V.	
Dose	1957	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O, H <sub>2</sub>	X, r	
Oró	1961	HCN, NH <sub>3</sub>	Calor	
Sánchez	1966	Cianoacetileno, HCN, H <sub>2</sub> O	Calor	
Steinman <i>et al</i>	1968	Tiocianato de amonio	U.V.	
Friedman y Miller	1969	Fenilacetileno	Calor	
Bar-Num	1974	CH <sub>4</sub> , C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	Ondas de Choque	
Yuasa y Oró	1974	HCN, H <sub>2</sub> O, M <sub>2</sub> O ó M <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Calor	
Ventilla y Egami	1977	Formol Hidroxilamina, Fe <sup>2+</sup> , MO <sup>2+</sup> , Zn <sup>2+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , Mn <sup>2+</sup> , Co <sup>2+</sup>	Calor	
Ivanov y Slavcheva	1977	Glicina, MnCO <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Calor	
Schwartz y Chittenden	1977	β-Alanina, Urea, Minerales Arcillosos (Montmorillonita) + Acetato	U.V.	
Draganic	1985	NH <sub>2</sub> CN y HCN	r	
Draganic	1985	HCN, CH <sub>3</sub> CN, RCN, CH <sub>3</sub> OH, HCO <sub>2</sub> H	r	
Lowe	1963	HCN, NH <sub>3</sub>	Calor	Algunos Aminoácidos, Urea, Purinas, Péptidos y Acidos Grasos
Oró		Acilonitrilo, H <sub>4</sub> CIN, Urea	Calor	Guanina, Xantina, Uracilo
Ponnamperuma		HCN, H <sub>2</sub> O	U.V.	Adenina, Guanina, Urea
Ponnamperuma	1966	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O ó HCN	β	Adenina, Guanina
Sánchez <i>et al.</i>	1968	4-Aminoimidazol-5-Carbonitrilo + HCN	Calor	Purinas
Yang y Oró	1971	CO, NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub>	Calor	Adenina, Guanina, Citosina, Urea, Biuret, Guanil, Urea, Melanina
Yuasa y Oró	1974	HCN, H <sub>2</sub> O, M <sub>2</sub> O ó M <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Calor	Diaminomaleodinitrilo; Gly, Ala, Asp, Adenina, 4-Aminimidazol 5-Carboxiamidina
Chadha <i>et al.</i>	1974	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	Efluvio y Arco Eléctrico	Alquilaminopropinitrilos, Aminoacetronitrilo, N-Metilaminoacetronitrilo, 2-Aminopropionitrilo. Derivados de Piridina y Pirimidina
Schwartz y Chittenden	1977	β-Alanina, Urea, Minerales Arcillosos (Montmorillonita) + Acetato	U.V.	Uracilo, Timina
Negrón-Mendoza	1984	HCN, CH <sub>3</sub> CN + CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	r	Adenina, Triazinas

Los trabajos citados reportan la obtención de aminoácidos; el orden de frecuencias es el siguiente: Alanina, Acido Aspártico, Acido Glutámico, Glicina, β-Alanina, Lisina, Serina, Valina, Arginina, Histidina, Prolina, Ornitina, Isoleucina, Leucina, Treonina, Arginina; los siguientes aminoácidos poseen frecuencias semejantes: Fenil-Alanina, Treonina, Citosina, Metionina, Triptofano. En algunos casos los aminoácidos no se formaron en estado libre sino que se obtuvieron por hidrólisis de polímeros indefinidos. También se formó un gran número de intermediarios de aminoácidos.

\* Tomado y modificado de Negrón-Mendoza'

**TABLA IV. Continuación**

Oró	1961	HCN, NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	Calor	
Oró <i>et al.</i>	1962	Formaldehído, Acetaldehído, Oliceraldehído	Calor	
Steinman <i>et al.</i>	1964	Glucosa, Acido Fosfórico, Diciandiamida	U.V. ó Espontáneo	Se obtuvieron casi todos los azúcares de interés biológico. Si la mezcla contiene fosfatos, los azúcares se obtienen en forma activa.
Ponnamperuma	1966	Formaldehído ó HCN, H <sub>2</sub> O	r, U.V. β	
Gabel y Ponnamperuma	1967	Formol, Alumina, Alumino-Silicatos	Espontánea	
Oró <i>et al.</i>	1966	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O a través Gel de Silicio	Calor	
Ponnamperuma	1966	CH <sub>4</sub>	Descarga Luminosa	Se obtuvieron Hidrocarburos Saturados e Insaturados, Alifáticos y Aromáticos, Tioles.
Toupance <i>et al.</i>	1971	CH <sub>4</sub> , solamente ó CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , ó CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> ó CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O ó CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S, CS <sub>2</sub>	Efluvio	
Toupance <i>et al.</i>	1977	CH <sub>4</sub> , solamente ó CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub>	U.V.	
Miller	1953	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O	Descarga de Chispas	
Oró <i>et al.</i>	1959	CH <sub>2</sub> , NH <sub>2</sub> OH, H <sub>2</sub> O	Calor	
Fox <i>et al.</i>	1961	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	Calor	
Allen <i>et al.</i>	1966	CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> O	Descarga Luminosa	
Zeitman <i>et al.</i>	1974	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> , NH <sub>4</sub> Cl	Descarga Eléctrica	Se obtuvieron todos los Acidos Monocarboxílicos y Dicarboxílicos de interés biológico. Cuando la mezcla contiene compuestos con Nitrógeno se obtienen derivados Nitrogenados.
Negrón-Mendoza y Ponnamperuma	1976	Acido Acético	r	
Negrón-Mendoza y Ponnamperuma	1982	Acido Acético	U.V.	
Castillo <i>et al.</i>	1985	Acido Málico	r	
Negrón-Mendoza <i>et al.</i>	1985	HCN, CH <sub>3</sub> CN, NH <sub>2</sub> CN y CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CN	r	
Draganic <i>et al.</i>	1985	NH <sub>2</sub> CN y HCN	r	
Hodgson y Ponnamperuma	1968	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> O	U.V. + Descarga Eléctrica	Porfirinas de interés biológico.
Oró <i>et al.</i>	1978	Palmitato de Amonio, Glicerol, Cianamida Glicerofosfato	Calor	Lípidos y Fosfolípidos dependiendo de la adición o no de Glicero-fosfato.
Rao <i>et al.</i>	1982			