De la nada absoluta al origen de la vida
Parte I: de las moléculas esenciales

***Dr. Carlos Aponte, Dra. Mireya Sánchez**
Gerencia de Docencia e Investigación. Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel.
Hospital José Gregorio Hernández, Caracas

Resumen

Comprender el origen de la vida en nuestro planeta depende de la comprensión del origen de los elementos químicos básicos constitutivos de la misma. Carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo y azufre (CHONPS) son los bloques esenciales de la vida. El Big Bang y la nucleosíntesis estelar serán la fuente de los elementos químicos de la vida. Este artículo (I parte), revisa el conocimiento que tenemos sobre la génesis de la materia y, en particular, la formación de la materia en el espacio.

Abstract

The comprehension of the origin of life in our planet is the comprehension of the origin of basic chemical elements required by life. Carbon, hydrogen, oxygen, nitrogen, phosphorus and sulfur (CHONPS) are essential blocks of life. The Big Bang and stellar nucleosynthesis will be the source of these chemical elements. This paper (part one) reviews knowledge about the genesis of matter and, in particular, the formation of the chemical elements in the space.

Introducción

Una aproximación alnacimiento del universo

Intentar reflexionar sobre el origen de la vida, nos obliga a remontarnos previamente al origen mismo del universo. Cuando nos preguntamos *¿De dónde surgió la vida?*, quizás también nos estemos preguntando *¿De dónde partió todo?*[1]. Así, titulaba la revista *Discover* su número 5, de mayo 2002, con una muy sugerente bola roja, de un centímetro de radio, en el centro de la portada y acompañada de un rótulo: *"el universo a los 10^{-34} segundos (Tamaño real)"* (Fig. 1). Es decir, en su origen, toda la Energía del Universo se hallaba concentrada en un volumen ínfimo (la pequeña bola roja); de hecho a tiempo cero, la densidad de energía y la temperatura debía alcanzar valores infinitos dentro de un radio nulo[2].

Fue en 1929 que Edwin Hubble realizó una observación astronómica crucial: las galaxias se alejan unas con respecto a otras a una velocidad dada, y esta velocidad con la que dos galaxias cualesquiera se separan es proporcional a la distancia entre ellas según el modelo de Friedmann[2, 3, 7]. Una galaxia situada a diez millones de años-luz se aleja de nosotros a 200 kilómetros por segundo, mientras que otra galaxia, situada a cien millones de años-luz, se aleja a 2000 kilómetros por segundo[2]. Este movimiento de galaxias entra en correspondencia con la llamada ley de Hubble (la relación entre las distancias de las galaxias y el corrimiento al rojo de su luz). Este parámetro es la constante de Hubble, designada por *H* de unos 50 Km/seg. Es decir, las líneas espectrales de emisión de una galaxia dada que se aleja de nuestra posición cósmica tienden a estar desplazadas hacia el rojo[2,3,4,5,6,7]. Así, parece ser que este corrimiento al rojo (el denominado efecto Doppler) esta en relación con la velocidad de alejamiento de las galaxias en un universo en expansión. Por tanto, el universo no es

* Autor al que debe dirigirse la correspondencia. Dirección de Investigación. Gerencia de Docencia e Investigación. Instituto Nacional de Higiene "Rafael Rangel". Apdo 1040, Caracas-Venezuela, Teléfax: (02) 693 49 67 Correo electrónico: caponet2111@yahoo.fr.



Figura 1. Portada de la la revista *Discover* su número 5, de mayo 2002.

estático sino que se encuentra en una constante expansión. De allí se deduce que a un momento anterior dado (entre diez y veinte mil millones de años) toda la materia del universo se encontraba densamente concentrada. En este punto la teoría de relatividad general de Einstein colapsa; y a esto se denomina matemáticamente: *una singularidad*[2,3,4,5]. Esta pauta global de movimiento de las galaxias sugiere al inicio (tiempo cero) una explosión inicial, un *Big Bang* que origina todo tiempo/materia contenido en nuestro universo.

La génesis del todo

Antes de 10^{-43} segundos después del *Big Bang*, se halla la barrera de conocimiento, la barrera de Planck. Ahora bien, es importante dejar claro, que la misma idea de definir un *"instante previo, anterior"* (en término de espacio/tiempo) pierde sentido ya que el mismo espacio/tiempo se distiende, se deforma; lo cual es una predicción de la teoría de relatividad general de Einstein. Tanto espacio y tiempo son parte integrante del campo gravitacional del Universo; así, toda deformación del campo gravitacional se traduce en una deformación o curvatura del espacio/tiempo[7, 15, 16]. Es decir, espacio y tiempo nacen de la misma nada al momento del *Big Bang*. Pero esa rara nada absoluta no es más que vacío quántico, fluctuaciones quánticas espontáneas e imprevisibles; el Principio de incertidumbre de Heisenberg (podemos saber la velocidad o la posición de un electrón pero nunca podrás obtener información simultanea de los dos variables) en el nacimiento del Universo. En la actualidad, se habla de supercuerdas vibrando en un espacio/tiempo de 11 dimensiones[15, 18]. De acuerdo a esta teoría de cuerdas, una partícula elemental no es un punto sino un lazo de cuerda vibrante tal como, una cuerda de violín o de piano, la misma vibra a una diferente harmónica: Mozart construyendo universos. Es decir, la vibración de una cuerda fundamental podría dar lugar a masas y cargas de fuerza[21]. Así, parece ser que el universo nace de una fluctuación quántica a partir de un vacío infinitamente pequeño[7,15, 17].

A los 10^{-43} segundos después del *Big Bang*, el equilibrio materia/antimateria se fractura, decantándose tal fractura a favor de la materia. Esta es la denominada era hadrónica, el universo como una pasta densa constituida por hadrones y leptones (partículas y antipartículas)[7, 13]. A los 10^{-34} segundos después del *Big Bang*, el universo que conocemos solo estaba constituido de un plasma de quarks (partículas constitutivas de protones y neutrones), gluones (partículas de intercambio de la fuerza nuclear) y otras partículas exóticas[8, 11, 12]. A fuerte densidad; los nucleones se interpenetran y los quarks dejan de estar confinados dentro de los nucleones. Es a los 10^{-23} segundos –bajo la presión del enfriamiento por expansión- que se produce la transición hacia la materia ordinaria[8]. Sólo a los 100 segundos después del *Big Bang*, se forman los núcleos atómicos. Protones y neutrones se unen para formar los primeros núcleos atómicos. En este instante, el Hidrógeno se forma en el seno de esta sopa primordial. Todos los demás elementos químicos tendrán presencia en el universo sólo después de su génesis por nucleosíntesis durante el curso de la evolución estelar[9, 10, 11]. Efectivamente, todos los elementos pesados, del carbono al uranio, han sido fabricados por evolución estelar, pero no así los elementos ligeros como el hidrogeno (ya mencionado), el helio, el litio, el birilio, el boro y sus isótopos, los cuales se originan de la nucleosíntesis primordial [9,13]. El deuterio, isótopo pesado del hidrógeno, se debió formar solo cuando la temperatura disminuyó, y cuando el mismo llegó a ser abundante (aproximadamente 2×10^{-5} g/cm^3), unos centenares de segundos después del *Big Bang*[36], entonces podía tener lugar la formación de núcleos más pesados, tales como ^{3}He y ^{4}He. Dado los valores bajos de densidad, los núcleos formados en el universo primitivo eran esencialmente los más ligeros (p. ej. ^{7}Li)[2, 9]. Estos núcleos ligeros son verdaderos fósiles cosmológicos (Fig. 2).

Por otro lado, en 1992, el satélite de la Nasa denominado COBE (Cosmic Background Explorer) realizó mediciones precisas de la radiación de fondo cosmológica (radiación primordial que baña todo nuestro universo e identificada por primera vez por los miembros de la Bell Telephone Laboratories en New Jersey: Arno Penzias & Robert Wilson). Dicha radiación, gestada 300 000 años después del *Big Bang* (Fig. 3), muestra zonas de una temperatura ligeramente superior (color oscuro) y de una ligeramente inferior (color claro) al promedio de 2.726 ºK

Acta Científica
de la Sociedad
Venezolana
de Bioanalistas
Especialistas

De la nada absoluta
al origen de la vida
Parte I: de las moléculas
esenciales

[2, 11]. Esas irregularidades (granularidad) observadas en el mapa-COBE no son más que un cliché-foto de ese instante del universo naciente. Estas áreas son los primeros embriones de lo que serán las estructuras galácticas en formación. Recientemente, el satélite americano Wilkinson Microwave Anisotropy Probe afinó estas fluctuaciones de temperatura y los resultados obtenidos indican que el universo, con una edad de 13.7 millones de años, posee una geometría plana o cuasiplana, y su expansión se acelera por la presencia de una misteriosa energía sombra u obscura[11, 29]. Con la expansión del universo en gestación existe una disminución concomitante de la temperatura. Disminución que permite a su vez una segunda fractura de importancia, aquella relativa a la materia y luz (luz, rayos X y rayos γ); el universo deviene transparente a la radiación de fondo jcosmológica[7] .En el pasado, la radiación cósmica estaba en equilibrio con la materia mediante interacciones entre fotones y electrones; en la medida que el universo se dilataba, la densidad original también disminuía y como consecuencia la interacción luz/materia se fractura. Cada fractura de simetría esta en relación con la disminución de temperatura debida a la expansión. La organización y reordenación de la materia (átomos, moléculas, estrellas, galaxias, cúmulos de galaxias, sistemas solares, planeta y vida en el universo será producto de la inevitable disminución de la temperatura del mismo por la expansión[5, 19]. El crecimiento de la complejidad emerge de una interacción fructuosa entre lo infinitamente grande (planetas, estrellas, galaxias, Universo) y lo infinitamente pequeño (moléculas, átomos, nucleones, quarks, y supercuerdas) [20].

Fue hacia los 1000 millones de años después del *Big Bang*, que los cúmulos de materia comienzan a condensarse y forman quásares, estrellas y protogalaxias. Así, bajo la influencia de la materia obscura, los elementos ligeros y partículas se ensamblan para formar los gases en el seno de embriones de galaxias. Bajo el efecto de la gravedad, el gas se densifica en nubes protogalácticas. En el seno de estas nubes se engendran las estrellas (Fig.4). Las estrellas se forman cuando las nubes moleculares entran en colisión o se desestabilizan por efecto de un fenómeno exterior. Recientemente, en la nebulosa Omega, a unos 7000 años-luz de la tierra, se detectó una estrella en formación, tan masiva como unas 20 masas solares[32]. Otro dato de importancia fue aportado por Walter et al.[34] analizando el quasar J1148+5251 detectaron un inmenso reservorio de gas y polvo altamente enriquecido en oxígeno y carbono lo que sugería que hace unos 850 millones de años después del *Big Bang* ya tenía lugar la primera serie de formaciones estelares y muerte de estrellas masivas.

Las estrellas juegan un papel de primera línea en la dinámica y evolución del universo: (a) Liberan una gran cantidad de energía (el corazón de estrellas recién nacidas se calienta a unas decenas de millones de grados Kelvin y se convierten en lugares para la fusión nuclear) y (b) sintetizan la mayoría de los elementos químicos. La observación de la abundancia de elementos en el universo tiende a presentar una cierta regularidad de una estrella a otra y a su vez mantiene cierta proporción con la que encontramos en nuestro sistema solar[9, 10]. Una joven estrella transforma permanentemente hidrógeno en helio + fotones + neutrinos, hasta que el combustible es consumido. Entonces, la estrella se contrae de nuevo y, bajo la fuerte densidad alcanzada, la temperatura aumenta hasta unos 200 millones de grados. Bajo estas nuevas condiciones, los núcleos de helio se fusionan y generan núcleos de carbono (proceso triple α), engendrándose una gigante roja. Cuando todos los átomos de hidrógeno y helio han sido consumidos, la estrella se vuelve a contraer aumentando, por ende, su temperatura (hasta 500 millones de grados K). En ese momento, comienza la combustión de carbono ($^{12}C + {}^{4}He \rightarrow {}^{16}O$)[37] , enriqueciéndose el centro de la estrella en elementos pesados (oxígeno, silicio, sodio,

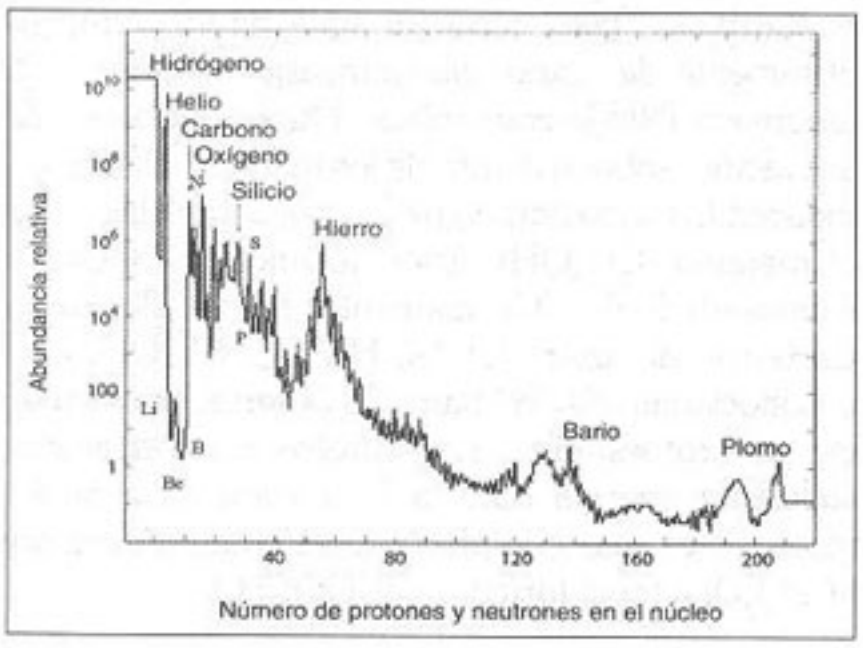


Figura 2. Abundancia de los elementos químicos desde los más ligeros hasta los más pesados. Li (Litio), Be (Berilio), B (Boro), N (Nitrógeno), P (Fósforo) y S (Azufre).Los más ligeros son verdaderos fósiles cosmológicos (Modificado referencia 20).

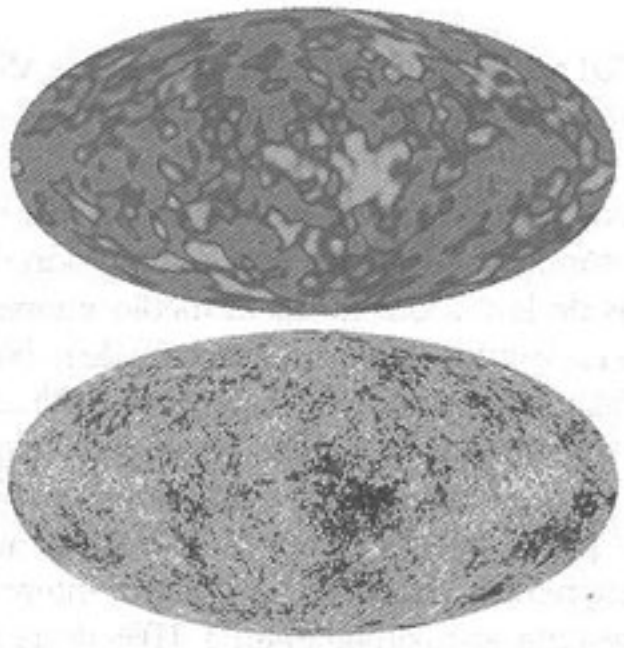


Figura 3. Radiación fósil detectada por COBE (imagen superior) y el WMAP (imagen inferior) . Registro de variaciones de temperatura respecto al promedio de 2.726 ºK. La granularidad del universo naciente.(webphysics.davidson.edu/. ../cobe-wmap.htm).

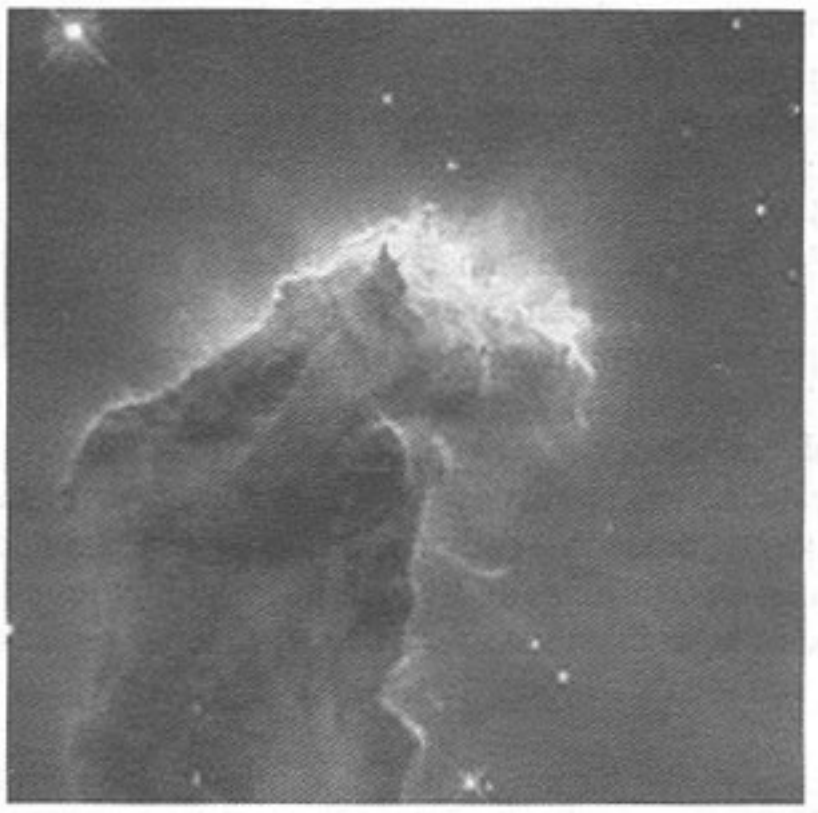


Figura 4. Formación estelar a partir de nubes moleculares. Nebulosa del Águila en M16. Se observan las columnas del gas hidrógeno y polvo cósmico que son la génesis de nuevas estrellas. (Hubble Space Telescope. NASA Copyright Free Policy).

y azufre). La tasa de producción total de carbono sólido a partir de estrellas enriquecidas en carbono es cerca de 0.002 M☼ por año[37]. Las estrellas que son pesadas en un orden de más de diez veces el Sol, el núcleo es principalmente de hierro[9, 10, 14]. El punto final del colapso de una estrella dependerá de su masa: (a) enanas blancas si la masa de la estrella es 1.2 veces la masa del Sol, (b) Supernova, estadio para estrellas con masas de más de 10 veces que aquella del Sol o (c) un agujero negro, el colapso total de una estrella, donde nada, ni siquiera la luz, puede escapar. Un punto final donde la curvatura espacio/tiempo se hace infinita: ***una singularidad***. En efecto, las mismas ecuaciones que describen un agujero negro, pueden describir el Universo naciente[3, 7, 17].El *Ouroboros* del Universo, la serpiente que se muerde la cola; perpetua transmutación de la vida y de la muerte.

Moléculas inorgánicas, moléculas orgánicas y medio interestelar.

La etapa de producción de moléculas a partir de los núcleos atómicos, comienza con la expulsión de los productos de la nucleosíntesis al medio interestelar mediante los vientos estelares, eyección de nebulosas planetarias y explosiones de supernovas. Alrededor de algunas estrellas variables rojas y de algunas estrellas de carbono existen verdaderas envolturas de gas y polvo eyectado por la estrella y que es rico en elementos pesados. La materia interestelar (MI) representa aproximadamente 10% de la masa de las galaxias y esencialmente esta compuesta de moléculas en fase gaseosa (H^+, H_2, ^4He, CO, H_2O, CH_4, y varias moléculas complejas como hidrocarburos aromáticos) y de granos de polvo (compuesto predominantemente de material orgánico y silicatos), cubiertos de una delgada capa de hielo. Estos últimos pueden alcanzar del 1 al 2% de la masa total del gas interestelar. Es precisamente con el colapso gravitacional del polvo y la materia interestelar por las inestabilidades de la propia nube lo que conlleva a la formación de estrellas, las cuales suelen estar acompañadas de planetas y pequeños cuerpos más o menos sólidos[14, 22, 23]. Así, las nubes densas y frías que existen entre las estrellas de nuestra galaxia y en las galaxias próximas, se encuentran enriquecidas de moléculas interestelares constituidas principalmente por carbono, hidrógeno y nitrógeno en varias combinaciones[22, 23]. Es menester destacar que en estas nubes densas pueden tener lugar la síntesis molecular tanto en fase gaseosa como en la superficie (o en el interior) de los granos de polvo interestelar[26]. Gracias a la radiación milimétrica, se han descubierto cientos de moléculas orgánicas y radicales libre muy activos en el interior de estas nubes. Entre las moléculas orgánicas detectadas tenemos: alcoholes, éteres, acetona, cadenas carbonadas ≥ 15 C y anillos carbonados (p.ej. ciclopropanodieno C_3H_2). Ya en 1904, Hartmann, observando el espectro de la estrella Orionis, nota la existencia de dos rayas espectrales de 3934 y 3968 nm, características del ión CaII (átomo de calcio ionizado). Sin embargo, las principales rayas de absorción son debidas a los átomos de sodio, de potasio, de titanio y de calcio (como ya dijimos) ionizados[24, 26, 27]. En 1963, Barrets & Meeks detectan una intervalo de la radiación correspondiente a las ondas de radio de 18 cm de longitud de onda dependiente del radical hidroxilo (OH). En 1986, Lucas y col. detectaron en la env uellas envolturas gaseosa expelidas por estrellas durante su evolución[22, 23, 30,31]. Las más abundantes especies en estas nubes es el hidrógeno (H_2) y la especie carbonada CO ($CO/H_2 = 10^{-4}$). Con ordenes de 10^{-3} - 10^{-4}, se encuentran el formaldehído (H_2CO), cianuro de hidrógeno (HCN), amonio (NH_3) y metilacetileno (CH_3CCH). Otra serie de especies moleculares participan en la formación de los mantos de hielo de la superficie de los granos de polvo cósmico, a partir de reacciones esencialmente exotérmicas, tales como el agua (H_2O) [principal absorbente de ondas milimétricas], metano (CH_4), amoníaco (NH_3), entre otras. Otras reacciones de activación, sobre o dentro de los mantos hiélificados, inducen la formación de moléculas complejas como el metanol (CH_3OH), ácido fórmico (HCOOH) y formaldehído (H_2CO). Elementos trazas tales como Carbonilo de azufre (OCS), H_2CO, HCOOH, CH_4 e isotiocianato (OCN^-) han sido observados cerca de ciertas protoestrellas. Las estrellas masivas liberan suficiente energía para la formación de especies moleculares más complejas, tales como dimetileter ($(CH_3)_2O$) y metil formato ($HCOOCH_3$).

El carbono

La abundancia de carbono cósmico es un parámetro de relevancia para las consideraciones que *a posterio-*

ri deberemos considerar ya que la evolución cósmica del carbono en los discos protoplanetarias y en planetisimales podría tener implicación en la evolución posterior de la vida sobre una superficie planetaria dada. Las medidas de carbono solar es de alrededor de 355 ± 50 átomos de carbono por 10^6 átomos de H (ppm). Sin embargo, la abundancia del mismo en materia interestelar es de unos 225 ± 50 ppm. Más del 20% suele incorporarse en forma de CO gaseoso pero una importante fracción se encuentra presente en largas especies carbonadas tales como hidrocarbonos policíclicos aromáticos (PAHs) y carbono macromolecular en granos (carbono amorfo y material tipo kerógeno complejo)[31, 37]. Las especies moleculares orgánicas detectadas en el espacio van desde las más simples del tipo diatómicas (por ejemplo, CO, CN, C_2, CH, CH^+, CN^+, y CO^+) a aquellas denominadas poliatómicas (CH_2, CH_4, C_2H_2, CH_3OH, CH_3CH_2OH, H_2CO, y HCN), Así, también encontramos moléculas grandes, complejas e insaturadas [radicales acetilénicos (C_nH), cianopoliinos (H C_nN), carbinos, cadenas carbonadas del tipo C_n H_m (donde $n< m$) y las moléculas hidrocarbonadas aromáticas policíclicas (PAHs). Los PAHs son las moléculas complejas más abundantes en el espacio[37], con una abundancia respecto de aquella del hidrógeno de 10^{-7}.

Como ya sabemos, las nubes interestelares son contentivas de variadas moléculas orgánicas así, p. ej. la nebulosa del Insecto, NGC 6302, se formó del gas eyectado de una estrella de unos 250 000ºC. El análisis de la composición química del gas y polvo que rodea a la no visible estrella del Insecto revela la presencia de hidrocarburos, de agua hielificada, hierro y carbonatos[33]. Mas recientemente, el telescopio japonés *Subaru*, detectó la presencia de la especie orgánica glicina (el más simple de los aminoácidos: NH_2CH_2COOH), en el interior de tres diferentes nubes de formación de estrellas: Sgr B2(N-LMH), Orion KL, y W51 e1/e2[28]. Pilling y col. (2005)[38] mostraron una posible vía preferencial para la formación de glicina mediante procesos de fotodisociación y fotoionización de las moléculas precursoras, ácido fórmico y ácido acético, en estas nubes. Sin duda, la presencia de tal compuesto orgánico podría tener implicación en la bioquímica terrestre y en la síntesis prebiótica.

La presencia de material orgánico primitivo ha sido detectado en meteoritos condríticos carbonados, partículas de polvo interplanetario de origen cometario y granos de los cometas P/Halley, Hale-Bopp y Hyakutake[37, 39]. Los hielos cometarios son predominantemente agua hiélificada. La abundancia de carbono orgánico en partículas cometarias puede ser tanto como 50% del total del material constitutivo. Una amplia variedad de moléculas con una posible implicación en química prebiótica han sido detectadas en los cometas, así tenemos H_2O, CO_2, H_2CO, NH_3, HCN, CH_3CN, HNCO y H_2S. Otras especies más complejas han sido también identificadas, tales como acetaldehído (CH_3CHO), metil formato ($HCOOCH_3$), formamida (NH_2CHO) y especies similares a la glicina (NH_2CH_2COOH), no muy significativamente abundante. Es importante recalcar a este punto, que los cometas parecen ser detritus de la nube que colapsó en aquella nebulosa solar que originó el sol y los planetas. Los mismos se encuentran relegados

Number of atoms

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
H_2	C_3	c C_3H	C_5	C_5H	C_6H	CH_3C_3N	CH_3C_4H	CH_3C_5N?	HC_9N	C_6H_6
AlF	C_2H	l C_3H	C_4H	l H_2C_4	CH_2CHCN	$HCOOCH_3$	CH_3CH_2CN	$(CH_3)_2CO$		$HC_{11}N$
AlCl	C_20	C_3N	C_4Si	C_2H_4	CH_3C_2H	CH_3COOH?	$(CH_3)_20$	NH_2CH_2COOH?		PAHs
C_2	C_2S	C_30	l C_3H_2	CH_3CN	HC_5N	O_2H	CH_3CH_2OH	**CH_2CH_2CHO**		$C^+_{60}7$
CH	CH_2	C_3S	c C_3H_2	CH_3NC	$HCOCH_3$	H_2C_6	HC_7N			
CH^+	HCN	CA	CH_2CN	CH_3OH	NH_2CH_3	$HOCH_2CHO$?	C_8H			
CN	HCO	CH_2D^+?	CH_4	CH_3SH	c $C1H_20$					
CO	HCO^+	HCCN	HC_3N	HC_3NH^+	**CH_2CHCHO**					
CO^+	HCS^+	$HCNH^+$	HC_2NC	HC_2CHO						
CP	Rot	HNCO	HCOOH	NH_2CHO						
CSi	HO	HNCS	H_2CHN	C_5N						
HCl	H_{25}	$HOCO^+$	H_2C_20							
KCl	HNC	H_2CO	H_2NCN							
NH	RHO	H_2CN	HNC_3							
NO	MgCN	H_2CS	SiH_4							
NS	MgNC	H_3O^+	H_2COH^+							
NaCl	N_2H^+	NH_3								
OH	N_2O	SiC_3								
PN	MaCN	CH_3								
SO	OCS									
$S0^+$	SO_2									
SiN	c SiC_2									
SiO	CO_2									
SiS	NH_2									
CS	H^+_3									
HF	H_2D^+									
SH	**SiCN**									
FeO (¿?)	**AlNC**									

TABLA 1. Moléculas Interestelares y Circumstelares (Modificado Referencia 31).

en nubes externas que rodean al sistema solar denominadas nube de Oort. [a unos $10^4 - 10^5$ unidades astronómicas (AU) del sol] y "Kuiper Belt" (localizada más allá de Neptuno, a unos 30 – 100 AU).

Los meteoritos vienen a ser otra fuente de materia orgánica. Los del tipo condritos carbonados contienen cantidades significativas de carbono. La mayor parte se encuentra en una fracción orgánica macromolecular; compuestos tales como compuestos aromáticos (naftaleno, fenantreno, antraceno, indano, pirroles y benzotiofeno) nucleobases, cetonas, ácidos carboxílicos, aminas y amidas han sido identificados[31, 39]. También se han identificado más de 70 aminoácidos, ocho de los cuales se incluyen entre los 20 aminoácidos utilizados por las células vivientes. Interesantemente, al sumergir meteoritos carbonados en agua destilada se observa la presencia de aminoácidos rico en deuterio[40, 41]. Por otro lado, Backer *et al* (2000)[42] identifica, en los condritos carbonados de Murchinson y Allende, moléculas carbonadas de muy alto peso molecular denominados fullerenes ($C_{60} - C_{400}$). En nuestra próxima entrega (De la Nada Absoluta al Origen de la Vida. Parte II: De la Formación del Sistema Solar y Condiciones para la Vida) profundizaremos estos aspectos.

Referencias bibliográficas

1. Lemley. B. 2002. La Gran Adivinanza de Guth. Discover. 6(5): 24 – 31
2. Reeves, H. 2002. Dernières Nouvelles du Cosmos. Edit. du Seuil. Seuil 27 r. Jacob. Paris 6. France.
3. Hawking, S. 1996. Historia del Tiempo. Ilustrada. Crítica. Grijalbo Mondadori. Barcelona. España.
4. Davies,P. 1985. Superfuerza. Biblioteca Científica Salvat. Salvat Edit. Barcelona. España.
5. Chaisson, E. 1987. El Amanecer Cósmico. Biblioteca Científica Salvat. Salvat Edit. Barcelona. España.
6. Ferrys, T. (1999) La Aventura del Universo. De Aristóteles a la Teoría de los Cuantos: Una Historia Sin Fin- Drakontos. Planeta. Barcelona. España.
7. Hawking, S. 2002. El Universo en una Cáscara de Nuez. Critica/Planeta. Barcelona. España.
8. Gerschel, C. & Kluberg, (1989). El Plasma de Quarks y Gluones: en Busca de un Nuevo Estado de la Materia. M. Cient: La Recherche. 9: 1246 - 1247
9. Wagoner, R & Goldsmith, D. 1984. Horizontes Cósmicos. Edit. Labor. SA. Barcelona. España.
10. Rees, M. 2002. Nuestro Hábitat Cósmico. Edit. Piados Ibérica SA. Barcelona. España.
11. Debroise, A. 2002. La Forme de l'Univers: la Fin d'une Énigme. Sci. & Vie. Hors serie. 221: 38 – 43
12. Sincell, M. 2004. Eight Great Mysteries. Origin & Fate of the Universe. Astronomy. Collector's Edition. Nov. 30: 012 – 017
13. Demaret, J. & Vandermeulen, J. 1982. Cosmologia y partículas. M. Cient: La Recherche. 2: 1212 - 1223
14. Debroise, A. 2002. D'Où Viennent Les Etoiles? Sci.& Vie. Hors serie. 221: 54 – 61
15. Trinh Xuan Thuan. 1998. Le Chaos et L'Harmonie. Le Fabrication du Réel. Fayard. Paris. France,
16. Davies, P. 2002. Avant le Big Bang. La Recherche. 349 : 32 – 36
17. Gribbin, J. 1990. Nacimiento y muerte del Universo. El Correo de la UNESCO. Mayo. 36 – 40
18. Witten, E. 2004. Universe on a String. Origin & Fate of the Universe. Astronomy. Collector's Edition. Nov. 042 – 047
19. Trefil, JS. 1986. El Momento de la Creación. Biblioteca Científica Salvat. Salvat Edit. Barcelona. España.
20. Reeves, H. 1998. Oisaeux, Merveilleux Oiseaux. Le Dialogues du Ciel et de la Vie. Editions du Seuil. 27, rue Jacob, Paris VI°. France.
21. Greene, B. 2001. El Universo Elegante. Drakontos. Planeta. Barcelona. España.
22. Lequeux, J. 1985. La Quimica Interestelar. Mundo Ciemtífico. La Recherche. 47 : 554 – 562
23. Combes F. 1989. El Universo Frio. Mundo Ciemtífico. La Recherche. 9 : 712 – 721
24. Lucas, R. & Cernicharo, J. 1989. Discovery of strong maser emission from HCN in IRC+10216. Astron. Astrophys., 54 : L11
25. Guelin, M.,Cernicharo, J.;Kahane, C.;Gomez-Gonzalez, J.; Walmsley, C. M. 1987. Detection of a heavy radical in IRC + 10216 - The hexatriynyl radical C6H? Astron. Astrophys., 175 : L5
26. Ferlet, R. 1983. El Medio Interestelar Difuso. Mundo Ciemtífico. La Recherche. 32 : 34 – 44
27. Ehrenfreund, P., Bernstein, MP., Dworkin, JP., Sandford, SM., Allamandola, IJ. 2001. The photostability of amino acids in space. Astrophys. J. 550 : L95 – L99
28. Kuan, Y.J., Charnley, S.B., Huang, H.C., Tseng, W.L., and Kisiel, Z. 2003. Interstellar Glycine. ApjS., 593 : 848
29. Bennett CL., M. Halpern, G. Hinshaw, N. Jarosik, A. Kogut, M. Limon, S. S. Meyer, L. Page, et al. 2003. First-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Preliminary Maps and Basic Results. ApjS. 148. 1
30. Charnley, SB., Ehrenfreund, P., & Kuan, YJ. 2001. Spectroscopic diagnostics of organic chemistry in the protostellar environment. Acta Spectrochim. 57 : 685 - 7040
31. Ehrenfreund, P., Irvine, W., Becker, I., Blank, J., Brucato, JR., Colangeli, I., Derenne, S., Despuis, D., Fraaije, H., Lazcano, A., Owen, T., Robert, F. 2002. Astrophysical and astrochemical insights into the origen of life. Rep. Prog. Phys. 65 : 1427 – 1487.
32. Chini R, Hoffmeister V, Kimeswenger S, Nielbock M, Nurnberger D, Schmidtobreick L, Sterzik M. 2004. The formation of a massive protostar through the disk accretion of gas. Nature. 429 : 155
33. Matsuura, M. Zijlstra A.A., Molster F.J., WatersL.B.F.M, Nomura H., Sahai R., Hoare, M.G. 2004. HST, VLT and JCMT observations of the disk and bipolar out_ows of the planetary nebula NGC6302. Astron. Astrophys. http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/ap040505.html
34. Walter, F., Bertoldi F, Carilli C, Cox P, Lo KY. 2003. Molecular gas in the host galaxy of a quasar at redshift z= 6. 42. Nature. 424 : 406
35. Bertoldi, F ; Carilli, C L ; Cox, P ; Fan, X ; Strauss, M A; Beelen, A ; Omont, A ; Zylka, R . 2003. Dust emission from the most distant quasars. Astron.Astrophys. 406: L55-L58
36. Hogan, CJ. 1996. Primordial Deuterium and the Big Bang. Sci. Amer. 275 : 36 – 41
37. Henning, Th. & Salma, F. 1998. Carbon in the Universe. Science. 282 : 2204 – 2210.
38. Pilling S., Boechat-Roberty H. M.,Baptista L., and Santos A. C. F. 2005. Preferential pathway for glycine formation in star-forming regions. Astroch: Recent Succ. And Curr. Challeng. Proc. IAU Symp. 231: 1 -2
39. Bernstein, MP., Sandford, SA., Allamandola, LJ. 1999. Life's far-flung raw materials. Sci. Amer. 281(1): 42 - 49
40. Epstein, S., Krishnamuty, R.V., Cronin, J.R., Pizzarello, S., and Yuen, G. U. 1987. Unusual Stable Isotope Ratios in Amino Acids and Carboxylic Acid Extracts from the Murchison Meteorite. Nature. 326 : 477-479
41. Robert, F. 1990. Las primeras moléculas orgánicas. M. Cient. 103 : 640 – 651
42. Becker L. Poreda RJ. & Bunch TE. 2000. Fullerenes: An extraterrestrial carbon carrier phase for noble gases. PNAS 97(7) 2979-2983.