

EL PLANETA TIERRA COMO UN RECEPTÁCULO DE VIDA: ¿UN PLANETA CORRIENTE O UNA RAREZA EN EL UNIVERSO?

The Earth Planet as a Repository of Life: A Common Planet or a Rarity in the Universe?

JOSÉ GREGORIO PORTILLA¹, M. Sc.

¹Observatorio Astronómico Nacional

Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.

jjgportillab@unal.edu.co

Presentado 8 de febrero de 2011, aceptado 9 de junio de 2011, correcciones 1 de julio de 2011.

RESUMEN

La vida está basada en elementos químicos que en su mayoría tienen su origen en el interior estelar. Luego las moléculas orgánicas se forman en el medio interestelar y pueden terminar en planetas aptos para la creación y prosperidad de la vida. Los planetas extrasolares, ahora detectados por los astrónomos, son bastante abundantes, pero aun así la vida extraterrestre parece ser escasa o al menos lo es la vida compleja. Un auténtico enigma es el hecho de que aun no se haya hecho contacto con civilizaciones extraterrestres.

Palabras clave: vida, vida extraterrestre, exoplanetas.

ABSTRACT

Life is based on elements that have their origins within the centers of stars. Then organic molecules are formed in the interstellar medium. They can make part of planets some of them appropriate for the origin and prosperity of life. Extrasolar planets are currently discovered and observed by astronomers and are abundant, but extraterrestrial life or at least complex life seems to be scarce.

Key words: Life, extraterrestrial life, exoplanets.

INTRODUCCIÓN

El propósito de esta comunicación, la versión escrita de la conferencia con el mismo título que hizo parte de la Cátedra de Sede José Celestino Mutis “Todo lo que usted quiere saber de genética y no se atrevió a preguntar”, es exponer de forma simplificada el estado del tema relacionado con la presencia de vida compleja en la Tierra y la posibilidad de que pueda existir en otros lugares del Universo. A pesar de los notables avances en diversos campos de la astronomía realizados en los últimos años, la existencia del fenómeno que llamamos vida permanece hasta el momento como

privilegio exclusivo del planeta Tierra. Pero a la luz de lo que conocemos del tamaño del Universo, la ubicuidad de las fuerzas físicas que lo permean, de la presencia de sistemas, cuerpos y bloques básicos que lo integran, obligan a pensar unánimemente que la vida deber ser prolífica en incontables nichos existentes a lo ancho y largo del cosmos muchos de los cuales han de presentar un ambiente semejante al terrestre que permita el surgimiento y mantenimiento de la vida, al menos como la conocemos.

Iniciaremos con una descripción del origen de los elementos químicos, luego con el de las biomoléculas para luego explicar el origen del Sistema Solar y de la Tierra. Posteriormente describiremos cómo los astrónomos han detectado planetas extrasolares, para luego comentar sobre la teoría de la “Tierra rara” y posibles explicaciones del porqué los extraterrestres, que han de ser bastante comunes, aun no se dan detectado.

ORIGEN DE LOS ELEMENTOS QUÍMICOS

Los seres vivos están conformados por elementos químicos. Un ser humano, por ejemplo, está integrado por oxígeno, carbono, hidrógeno y nitrógeno en un 96% en masa y el 4% conformado por una amplia variedad de elementos químicos más pesados entre los que se encuentran el calcio, el potasio, el fósforo y el azufre, solo para nombrar unos cuantos. Una explicación sobre el origen de las moléculas que conforman los seres vivos, demanda primero una explicación del origen de los elementos químicos en el cosmos.

En la actualidad casi unánimemente se considera que el Universo (materia, espacio y tiempo) surgió de un punto singular que, por razones no bien esclarecidas del todo, dio origen a un estado de densidad de energía de enormes temperaturas que rápidamente se expandió y enfrió formando con el tiempo las estructuras que actualmente observamos. La teoría que explica este proceso se conoce como *Big Bang* (gran explosión). Su respaldo observacional es fuerte: por un lado, los espectros de galaxias indican que estas se alejan las unas de las otras con una velocidad que es proporcional a la distancia entre ellas (Hubble, 1929) y dado que la fuerza de gravedad tiene un comportamiento atractivo se concluye que en el pasado ellas debieron surgir de algún punto común con una fuerza de gran magnitud que debió superar su mutua atracción. Por otro lado, en los años sesenta del siglo pasado se descubrió radiación en microondas que proviene de cada rincón del Universo (Penzias y Wilson, 1965), la cual se interpreta como la radiación fósil originada unos 400.000 años después del *Big Bang*, cuando el Universo ya era lo bastante frío como para que los átomos se pudieran formar liberando así radiación electromagnética.

Recientes medidas observacionales indican que el *Big Bang* ocurrió hace 13.7 mil MA de años (Hinshaw *et al.*, 2009). A causa de nuestro desconocimiento sobre los procesos físicos que suceden a muy altas energías, hay algo de especulación sobre lo que ocurrió con el Universo en los primerísimos instantes transcurridos después del *Big Bang*, esto es, a edades inferiores a los 10^{-37} segundos. Sin embargo, después de ese tiempo es posible pronunciarse sobre las posibles condiciones y cambios que se sucedieron. Al parecer ocurrió un proceso denominado “inflación cósmica” (Albrecht y Steinhardt, 1982), en el que el Universo creció de forma exponencial. Se cree que a unos 10^{-6} segundos del tiempo cero se combinaron partículas elementales llamadas quarks y gluones para dar origen a neutrones y protones (siendo este último el núcleo del átomo más abundante del Universo, hidrógeno). A medida que el Universo se enfrió, al cabo

de pocos minutos de haberse dado la expansión, cuando la temperatura descendió a mil millones grados Kelvin, neutrones y protones se fundieron para dar origen a los núcleos de deuterio (isótopo de hidrógeno consistente en un protón y un neutrón) y de helio. En ese momento, el Universo quedó constituido, en lo que a materia bariónica se refiere, en 75% de hidrógeno y en 25 % de helio, con cantidades muy pequeñas de litio. En otros términos, el hidrógeno y la mayor parte de helio que existe en el Universo se remonta casi al mismo momento en que surgió el Universo. La historia del origen de los elementos restantes es más elaborada.

Al ir expandiéndose y enfriándose, el Universo comenzó a formar estructuras que darían lugar a las galaxias aproximadamente unos 100 millones de años (MA) después del *Big Bang* (Larson y Bromm, 2001). Y en estas, el gas presente (H y He) comenzó a colapsar masivamente dando origen a las primeras estrellas. Una estrella es en esencia una estructura conformada por gas caliente, dotada de simetría esférica donde ocurren dos fuerzas con sentidos opuestos: la gravedad, que trata de llevar toda la masa hacia el centro, y una fuerza de presión surgida de este que se opone a la primera. Esta última requiere una fuente de energía de grandes proporciones y cuya naturaleza fue algo difícil de elucidar. En los años treinta del siglo pasado se demostró que en el interior de las estrellas puede ocurrir fusión nuclear en el que núcleos de átomos livianos se unen, bajo condiciones excepcionales de temperatura y presión, para dar núcleos más pesados (Bethe, 1939). En la actualidad se reconocen dos secuencias de fusión nuclear que pueden darse en las estrellas: el ciclo p-p, que funciona preferencialmente en estrellas con masas del orden de la del Sol; para estrellas más masivas se presenta el ciclo denominado CNO. El Sol y estrellas semejantes a él funden, la mayor parte de su vida, hidrógeno para producir helio. Cuando el hidrógeno se torna escaso en el núcleo la temperatura se incrementa a niveles en que el helio, que era un producto de una reacción, pasa a convertirse en materia prima y se funde con otros núcleos para producir carbono. Y cuando los núcleos de helio se agotan, los mismos núcleos de átomos de carbono comienzan a generar reacciones que producen núcleos de átomos más pesados. En otros términos, la estrella se las arregla para extraer energía de átomos cada vez con mayor número atómico. La síntesis de elementos químicos para estrellas de baja masa se detiene hasta carbono y oxígeno. Pero para estrellas más masivas (superiores a 9 veces la masa del Sol), la estrella continúa sintetizando elementos de número atómico cada vez mayor. Pero el proceso tiene límite, cuando finalmente el núcleo de estas estrellas masivas produce hierro, sucede algo que condena a la estrella a una muerte violenta. En todas las reacciones vistas hasta ahora los núcleos ligeros se funden para producir núcleos más pesados y generar con ello energía, la cual a su vez ha servido para sostener la estructura de la estrella y evitar así colapso gravitacional. El problema con el hierro es que si bien puede generar átomos más masivos, lo hace a costa de consumir energía, no de generarla. Sin una fuente de energía la estrella colapsa repentinamente, liberando energía en forma de una explosión colosal denominada supernova tipo II. Los átomos que se han sintetizado al interior de la estrella salen de este modo al medio interestelar.

Otro mecanismo adicional de enriquecimiento de elementos químicos al medio interestelar lo constituye la eyección de las capas externas de aquellas estrellas de baja masa en su etapa de gigantes rojas. A través de ese gas expelido pueden salir los átomos sintetizados en las zonas más internas de la estrella.

ORIGEN DE LAS MOLÉCULAS

Los átomos que han sido sintetizados en los núcleos estelares y que con el tiempo pasan a enriquecer el medio interestelar a través de varios procesos (principalmente de gas expulsado de estrellas gigantes) comienzan a formar moléculas.

Se cree que lo primero que se forma son los denominados granos de polvo de estrellas (*stardust*) en los que átomos como silicio, carbono, hierro y oxígeno forman núcleos densos de naturaleza química inerte y altamente refractarios tales como carburo de silicio, grafito y óxido de aluminio. Este polvo es relativamente resistente al medio hostil que reina entre las estrellas, a causa de las ondas de choque de supernovas cercanas, rayos cósmicos y radiación ultravioleta de estrellas calientes. Los granos son importantes ya que sobre su superficie pueden catalizar gran diversidad de reacciones químicas, dando origen, por ejemplo, a hidrógeno molecular (McCrea y McNally, 1960), agua, etanol y amoníaco (Aikawa *et al.*, 2003). Al mismo tiempo las protege de la destrucción que pueden producir las radiaciones de alta frecuencia. Puede ocurrir también que sobre el polvo se formen varios tipos de moléculas simples (ej. H₂O, CH₄, NH₃) formando una especie de envoltorio de hielo alrededor del grano.

Independientemente de la presencia de granos se presentan en el medio interestelar reacciones en fase gaseosa de tipo ión-molécula (Herbst y Klemperer, 1973). Átomos (y moléculas ya formadas) pueden estar ionizados por colisiones con rayos cósmicos. Ejemplos pueden ser He⁺, O⁺ y H₂⁺. A su vez estos iones pueden colisionar con otras moléculas y dar origen a moléculas neutras a través de sucesivas reacciones del tipo: A⁺ + B -> C⁺ + D. En regiones llamadas nubes moleculares gigantes, que consisten en vastas extensiones de gas molecular (tamaños entre 50 y 500 años luz) y en cuyo interior se forman estrellas, pueden ocurrir una amplia gama de reacciones químicas, favorecidas por la radiación ultravioleta proveniente de esas estrellas. Esto facilita la formación de moléculas más complejas, desde alcoholes, aldehídos, pasando por hidrocarburos aromáticos policíclicos (PAH, por sus siglas en inglés).

Se han descubierto más de 120 moléculas en el medio interestelar (y principalmente en las nubes moleculares), básicamente aprovechando el hecho de que emiten fotones de bajas frecuencias a través de transiciones vibracionales y rotacionales las cuales se detectan utilizando radiotelescopios. De hecho, se ha encontrado de este modo la molécula de glicina (Kuan *et al.*, 2003), un aminoácido, esto es, uno de los constituyentes fundamentales de las proteínas. Recientemente, con ayuda del telescopio infrarrojo Spitzer, se detectaron moléculas de la familia de los fullerenos (60 a 70 átomos de carbono) en una nebulosa planetaria (Cami *et al.*, 2010).

Otra forma de estudiar el tipo de moléculas orgánicas que pueden formarse en las nubes moleculares y, específicamente, en aquella que dio lugar a nuestro sistema solar, es a través del estudio de meteoritos. De notable importancia es la información proveniente del meteorito de Murchison, clasificado como condrita carbonácea y que cayó en Australia en 1969. En él se han identificado cerca de 14.000 compuestos moleculares (Schmitt-Kopplin *et al.*, 2010) y entre ellos unos 70 aminoácidos. Estos son particularmente notables en dicho meteorito, ya que se descubrió que los mismos están presentes en exceso enantiomérico (Engel y Nagy, 1982), lo que tiene profundas implicaciones sobre el origen de la vida en la Tierra. Recientemente se anunció el descubrimiento de aminoácidos al interior del asteroide 2008 TC₃, convertido después en meteorito al

impactar con la Tierra y ser recuperado. Lo interesante de estos aminoácidos es que debieron formarse en ausencia de agua, a causa de la naturaleza violenta del cuerpo parental que produjo el asteroide (Glavin *et al.*, 2010).

FORMACIÓN DEL SISTEMA SOLAR

La observación sugiere que es en las nubes moleculares (molecular hace referencia a que el hidrógeno está en ese estado) donde ocurre la formación de estrellas. Al parecer, el hecho de que las temperaturas al interior de ellas sean bajas (~ 10 °K) y que sus densidades sean relativamente altas (10^2 - 10^3 partículas/cm³) hacen que la fuerza de gravedad en ciertos sectores vaya superando la fuerza proveniente de la presión interna de los gases. Si ello ocurre, sucede el colapso gravitacional de la nube. El colapso puede originarse por causas externas: una onda de choque generada por una supernova cercana o la colisión con otra nube molecular. En el proceso del colapso ocurren fragmentaciones subsecuentes de nubes más pequeñas, también en colapso, hasta que dichas nubes alcanzan masas similares a las de una estrella. Como cada fragmento de nube va disminuyendo su tamaño, hay un aumento de la energía potencial gravitacional lo que genera energía que se emite hacia el exterior. Es claro entonces que la densidad del gas aumenta con el tiempo, lo que hace opaco al gas y con ello menos eficiente el proceso de difusión de energía al exterior. Llega un momento en donde cada fragmento en colapso es opaco a su propia radiación. Aquí los granos de polvo juegan un papel importante, pues son calentados a temperaturas entre 60-100 °K lo que les permite irradiar la energía de exceso a través de longitudes de onda en el infrarrojo, que sí son transparentes en la nube. Al aumentar la temperatura, las moléculas de hidrógeno se disocian y luego los átomos de hidrógeno y helio se ionizan. En un punto, el núcleo se hace convectivo y soporta el peso de la parte exterior (equilibrio hidrostático) logrando con ello detener en un primer momento el colapso (en tal punto el sistema se conoce como protoestrella). La existencia de un disco alrededor de la estrella hace que algo del material continúe siendo absorbido por la protoestrella y probablemente algo de él sobreviva en forma de protoplanetas. Aunque en un principio la fuente de energía de la protoestrella sigue siendo la contracción gravitacional llega un punto, en el núcleo, donde el hidrógeno entra en fusión y el material que aun no ha caído a la estrella rápidamente es expulsado hacia el exterior. Con ello termina la fase protoestelar y se da inicio a la fase denominada de secuencia principal.

Creemos que un proceso genérico como el que se acaba de describir (de forma por demás bastante simplificada) ocurrió con el Sol, hace ya 4600 MA. La nube de donde emergió el Sol se denomina nebulosa solar. Su disco protoplanetario quedó perpendicular al eje de rotación del protosol y se fragmentó en varios anillos que vendrían luego a colapsar para formar protoplanetas, los que a su vez recibieron fuertes impactos unos con otros y absorbieron también grandes cantidades de polvo y gas. A unos 150 millones de kilómetros del Sol quedó situada la prototierra que se formó alrededor de unos 4.54 mil MA; unos 10 a 20 MA después se completó fundamentalmente el proceso de acreción de la Tierra (Yin *et al.*, 2002).

No es nuestro interés comentar aquí sobre el problema del origen de la vida en la Tierra, ya que este tópico es examinado en otro artículo de este número. Nos basta con mencionar que hasta donde sabemos, en nuestro sistema solar la vida parece haber tenido

las condiciones adecuadas para su origen y preservación solo en la Tierra, aunque hay que admitir que la exploración de nuestro sistema solar ha sido marginal. Por ello no hay que dejar de lado los anuncios de posible actividad biológica en lugares ajenos a la Tierra donde no sería extraño que existiera vida microbiana. Es el caso de Marte y la detección de metano en su atmósfera (Mumma *et al.*, 2009) o el de la ausencia de acetileno en la atmósfera de Titán, la luna más grande de Saturno (Clark *et al.*, 2010).

Casi todos los cuerpos que integran el sistema solar poseen condiciones físicas extremas para un fenómeno tan relativamente sensible como es la vida. Sin embargo, más allá del sistema solar está el dominio de las estrellas, en cantidades abrumadoras y que hacen pensar en un número muy grande de sistemas solares algunos de los cuales puedan albergar planetas similares a nuestra Tierra.

ABUNDANCIA DE PLANETAS

Por bastante tiempo se especuló sobre la existencia de planetas en torno a otras estrellas, aparte, por supuesto, de nuestro propio sistema solar. Sin embargo, observarlos directamente como puntos luminosos en torno a su estrella materna, como bien cabe esperar fue (y aun hoy lo es para casi todos los casos) una tarea no exenta de gran dificultad debido a que el brillo de una estrella excede del orden de 10^9 el brillo que reflejan sus posibles planetas. Por ello los esfuerzos de los astrónomos se han concentrado en detectarlos indirectamente. Los métodos indirectos descansan en una simple consideración: si la estrella, que es lo que el astrónomo observa, está rodeada por uno o más planetas, su movimiento o su brillo serán afectados por la presencia de estos. Pero esto requiere que la estrella esté monitoreada continuamente para que las variaciones mencionadas se hagan en el tiempo evidentes. Existen varios de tales métodos indirectos; sin embargo, haremos aquí una descripción de solo tres de ellos. Simples consideraciones de orden físico, como el que hace que el centro de masas de un sistema de n cuerpos deba seguir una trayectoria rectilínea en el espacio, hará que una estrella con planetas describa un movimiento zigzagueante, con relación a las estrellas vecinas. Dicho método se llama astrométrico. Otro método, que descansa en la misma consideración física del primero, esto es, el que se acerque y se aleje con respecto a su movimiento en línea recta en el espacio, crea variaciones sutiles de la velocidad radial de la estrella (la componente de velocidad en la dirección del observador) a causa del efecto Doppler, esto es, la variación de la frecuencia o longitud de onda que emite la estrella por ser una fuente emisora de radiación electromagnética en movimiento. Los desplazamientos, muy sutiles y difíciles de detectar, se observan en las líneas de absorción presentes en el espectro de la estrella. Este método, conocido como de velocidades radiales, ha demostrado ser el más exitoso a la hora de descubrir planetas en otras estrellas. El tercer método, denominado de tránsito, consiste en monitorear cambios periódicos sutiles en la cantidad de luz que llega de la estrella que es debido al paso de un planeta o planetas por en frente del disco estelar (Dvorak, 2008).

Al iniciar el año 2011 cerca de 519 planetas extrasolares han sido descubiertos, de los cuales más de 75% han sido descubiertos por el método de velocidades radiales y un 20% por el método de tránsito. Los primeros planetas extrasolares (llamados también exoplanetas) en ser descubiertos resultaron ser objetos del orden de la masa del planeta Júpiter (cuya masa es 300 veces mayor que la de la Tierra) y a distancias muy cortas de

su estrella materna (muchos de ellos ubicados más cerca de lo que está Mercurio del Sol). Tal es el caso de 51Pegb, el primer planeta en ser descubierto en una estrella de tipo solar, de masa 0,5 de la Júpiter y con una distancia siete veces menos de lo que está Mercurio del Sol (Mayor y Queloz, 1995).

Esto constituyó una sorpresa, pues los modelos de sistemas solares de ese entonces predecían que los planetas gigantes como Júpiter deberían estar a distancias varias veces de la Tierra con respecto al Sol. Debido a la naturaleza de los métodos indirectos de detección, aquellos objetos masivos y con períodos orbitales muy cortos (llamados también jovianos calientes) fueron los primeros en descubrirse y constituyen por ahora la gran mayoría de los exoplanetas hasta ahora descubiertos. Pero con el tiempo se han venido detectando planetas con masas más parecidas a las de Neptuno o incluso menores, del orden de la terrestre. Un estudio reciente que contiene el resultado de la observación de 166 estrellas de tipo solar concluye que cerca de 23% de las mismas albergan planetas rocosos con masas semejantes a la de la Tierra (Howard, 2010). Considerando que la galaxia posee 2×10^{11} estrellas, el número de planetas parecidos a la Tierra ha de ser de miles de millones solo en la Vía Láctea.

Sin embargo, el hecho de que existan exoplanetas semejantes al nuestro no significa que necesariamente deba darse el fenómeno de la vida en cada uno de ellos. Hasta donde se sabe, para que la vida se origine y prospere, es un requisito indispensable la existencia de agua en estado líquido (Cataldo y Keheyán, 2003). Y ello requiere que el planeta se ubique dentro de un intervalo de distancia de su estrella materna denominado zona de habitabilidad. En esencia es una zona en torno de la estrella que queda definida por el tamaño y la temperatura superficial de la misma dentro de la cual es posible tener una temperatura superficial de un planeta rocoso con valores que hagan posible la existencia de agua en estado líquido.

Puesto que la gran mayoría de exoplanetas son del tipo joviano caliente, y solo hasta ahora comienzan a salir a la luz planetas con masas del orden de la de la Tierra se conoce a la fecha solo un exoplaneta (presumiblemente rocoso) dentro de la zona de habitabilidad. Es el caso del planeta Gliese 581g que hace parte de un sistema de seis planetas en torno a una estrella fría situada a 20 años luz catalogada como Gliese 581 (Vogt *et al.*, 2010). Pero en razón a que existen actualmente varios telescopios en tierra y en el espacio dedicados exclusivamente a la detección de exoplanetas, tales como la misión Kepler, un observatorio espacial que actualmente monitorea el brillo de 145.000 estrellas por el método de tránsito, es de esperarse en pocos años una avalancha de descubrimientos en planetas extrasolares del tipo terrestre algunos de los cuales pueden estar ubicados dentro de la zona de habitabilidad de sus estrellas.

¿DÓNDE ESTÁN?

Admitamos entonces que puede existir un número muy grande de planetas rocosos, tal y como señalan las observaciones. Potencialmente muchos de ellos también pueden ubicarse en la zona de habitabilidad. Extrapolando en tales objetos lo que ha ocurrido en la Tierra con respecto al surgimiento, evolución biológica y emergencia de seres autoconscientes creadores de cultura y civilización, se infiere entonces que en muchos sitios, a lo largo y ancho de la galaxia, deben existir seres análogos a los seres humanos. Sin embargo, este razonamiento enfrenta un serio obstáculo, denominado técnicamente

como paradoja de Fermi: si las civilizaciones, muchas de las cuales pueden llevarnos MA de adelanto tecnológico, abundan en el cosmos, entonces, ¿dónde están? Llevamos en la Tierra varios centenares de años de desarrollo científico y tecnológico, con exploración humana al terreno en un objeto cercano (la Luna) y exploración robótica de los principales miembros del sistema solar, aunado a la tecnología para observar y recoger señales electromagnéticas prácticamente a todo lo largo del espectro, habiendo explorado cada rincón de la superficie continental de nuestro planeta y aun así no ha sido posible encontrar la más mínima evidencia (que resista un análisis serio) que soporte la idea de la existencia de vida inteligente de origen extraterrestre. A estas alturas el lector puede preguntarse: ¿y entonces dónde coloca usted toda la serie de avistamientos de objetos voladores no identificados al igual que las sugerencias de que algunas de las construcciones realizadas en la antigüedad, por su grandiosidad y complejidad, hayan sido en realidad construidas por extraterrestres?

Es cierto que los medios de comunicación modernos divulgan constantemente este tipo de ideas a un público que en su mayoría es científicamente analfabeto, permeando en la cultura popular la existencia de seres extraterrestres que no tienen otra cosa mejor que hacer que estar espiando constantemente a los humanos a través de sus naves espaciales con forma de platillo. Sin embargo, y como ya se dijo, no existe en la actualidad una prueba irrefutable y contrastable que demuestre la existencia de seres extraterrestres, sean estos unicelulares o pluricelulares.

Una posible solución al dilema de la ausencia de extraterrestres (cuando deberían estar por doquier o al menos manifestar su presencia de forma indirecta) es la denominada hipótesis de la “Tierra rara” (Ward y Brownlee, 2000). En esencia, esta idea sostiene que la vida es muy abundante en el Universo, pero la misma se limita, en la gran mayoría de los nichos en que se origina, a seres unicelulares o acaso a seres muy simples. Sin embargo, en la Tierra, siguiendo con la idea, han ocurrido toda una serie de “coincidencias” que ha ocasionado no solo que la vida haya surgido y prosperado por casi 4×10^9 años, dando origen a seres vivos con gran complejidad, sino que ha dado lugar, casi azarosamente, a seres como nosotros.

Dentro de las “coincidencias” que se han dado se pueden contar las siguientes: 1. Ubicación del sistema solar dentro de la zona de habitabilidad galáctica, esto es, a una distancia del núcleo de la galaxia lo suficientemente grande como para no sufrir los efectos de episodios violentos y de gran despliegue de energía que suelen darse en esos sitios donde residen agujeros negros supermasivos, pero no tan lejano del centro ya que se requiere que existan elementos químicos pesados, los cuales no son tan abundantes en las zonas externas de la galaxia. 2. Existencia de la explosión cámbrica: en la Tierra, las cianobacterias y otros organismos unicelulares y algunos pluricelulares muy simples duraron como dueños y señores del planeta por cerca de 3.500 MA hasta que en un episodio sorprendente la referida explosión acaecida hace 530 MA fue testigo de la aparición, relativamente rápida, de organismos macroscópicos multicelulares. Se han propuesto varias ideas sobre lo que ocasionó la explosión que van desde un aumento en la concentración de oxígeno en la atmósfera hasta la sucesión de periodos de baja temperatura que cubrieron de hielo por entero al planeta, eventos que fomentaron o presionaron evolutivamente a los seres vivos que existían en ese entonces. 3. Existencia de placas tectónicas, que permiten mantener los niveles de gases de invernadero (como

dióxido de carbono) a niveles pequeños y controlables, lo que hizo aumentar la temperatura de la superficie terrestre de forma moderada (permitiendo agua en estado líquido) pero sin llegar al extremo de lo que ocurre con el planeta Venus, cuya temperatura diurna alcanza los 730 °K. También se ha sugerido que las placas tectónicas permiten una diferencia de temperatura a través del núcleo que genera células convectivas necesarias para generar el campo magnético terrestre, impidiendo de ese modo que partículas cargadas de alta energía (como el viento solar y rayos cósmicos), muy lesivas para los seres vivos, lleguen directamente a la superficie. 4. Existencia de la Luna terrestre, esto es, de un objeto en torno a la Tierra con una masa relativamente grande en relación a la masa terrestre (del orden de 1/81) que ha impedido que el eje de rotación terrestre adquiera un amplio rango de valores e incluso que el planeta termine al revés (como lo está en la actualidad Venus). La oblicuidad de la Tierra (ángulo entre el eje de rotación con respecto a la normal del plano eclíptico) se ha mantenido, gracias a la presencia de la Luna, alrededor de 23 grados con amplitudes que no han superado los 2 o 3 grados, lo que ha evitado cambios climáticos catastróficos que de otro modo hubiesen ocurrido, produciendo serias extinciones en masa. 5. Existencia de un planeta masivo más allá de la Tierra. El planeta Júpiter, situado a 5,2 unidades astronómicas del Sol, cuya masa es 320 veces la terrestre, y por ende, con un campo gravitacional muy intenso, ha servido como un atractor efectivo de numerosos cuerpos pequeños tales como asteroides y cometas. De no existir Júpiter habría un alto flujo de estos cuerpos menores hacia los planetas rocoso-metálicos, como la Tierra, lo que conlleva a una mayor tasa de colisiones de estos objetos con la superficie terrestre, esto es, a eventos como la extinción KT ocurrida hace 65 MA.

La implicación de la hipótesis de la Tierra rara es que nuestro planeta constituye un lugar bastante atípico en el cosmos, porque ha estado protegido de sucesos energéticos y catastróficos (comunes y constantes) que, a escalas de miles de MA permitió el surgimiento de diversas variantes en seres complejos y que a la postre condujo, tal vez por puro azar, a los seres humanos. Sin embargo, si se considera el número tan enorme de estrellas estimado en la Vía Láctea, desde un punto de vista estadístico, el número de planetas “especiales” (esto es, aun asumiendo la hipótesis de Tierra rara) como el nuestro es aun alto. Un estimativo (Bounama *et al.*, 2007) coloca en cerca de 2.5 millones de planetas semejantes a la Tierra solo en la Galaxia y que bien podrían dar lugar a seres complejos. En la actualidad hay propuestas de construcción de constelaciones de telescopios espaciales tanto en Europa como en Estados Unidos (misión Darwin y “buscador de planetas terrestres”, respectivamente) que utilizarían la técnica de interferometría de la radiación electromagnética. No solo podrían localizar planetas similares a la Tierra sino también encontrar evidencia de vida en ellos. Sin embargo, las dos propuestas han quedado a la espera indefinidamente por razones presupuestales.

No deja de ser entonces perturbador el hecho de que civilizaciones extraterrestres no hayan hecho contacto aun con nosotros cuando todo apunta a que deben ser bastante numerosas. Otra posible explicación a esta paradoja es la hipótesis del zoológico (Ball, 1973). Esta propuesta sugiere que los extraterrestres han puesto a la Tierra como planeta bajo observación, una especie de zona de preservación o zoológico limitando al máximo su interacción con nosotros.

COMUNICÁNDOSE CON LOS EXTRATERRESTRES

Al margen de las especulaciones anteriores, algunos astrónomos han dedicado sus esfuerzos a enviar (y recolectar) señales de radio con la esperanza de recoger la transmisión de una civilización cercana o que esta reciba la que se ha enviado desde la Tierra. Ya desde finales del siglo XIX se sugirió la utilización de ondas electromagnéticas para contactar posibles formas de vida inteligentes. Pero esta idea adquirió un respaldo científico solo hasta mediados del siglo XX (Cocconi y Morrison, 1959) y particularmente con la creación del proyecto Ozma, la primera iniciativa dentro de lo que se conoce ahora como SETI (acrónimo en inglés de búsqueda de inteligencia extraterrestre), un conjunto de actividades realizadas por científicos de distintas disciplinas quienes buscan contacto con otra civilización distinta a la nuestra. Ozma utilizó el radiotelescopio de *Green Bank* para recoger señales en 1.42 GHz proveniente de dos estrellas. Desde entonces otros varios radiotelescopios han sido utilizados para recoger y enviar señales de radio, sin mayores resultados hasta la fecha. Lo único digno de mención de anotar aquí es la llamada señal “wow”, la recepción de una transmisión de 72 segundos de duración recogida en el radiotelescopio *The Big Ear* de la Universidad Estatal de Ohio el 15 de agosto de 1977 y proveniente de un punto cercano a la estrella Tau Sagitario. Infortunadamente, la señal no se ha vuelto a recibir a pesar de varias observaciones con instrumentos más sensibles (Gray y Marvel, 2001).

CONCLUSIÓN

Los elementos químicos y las moléculas que constituyen la base de la vida como la conocemos están por doquier a través del Cosmos. El número de planetas que pueden albergar vida es, estadísticamente hablando, bastante grande. Y aun así, la vida en el Universo parece, por el momento, restringirse solo a la Tierra. Solo es cuestión de tiempo, mientras la ciencia y la tecnología avanzan, para dejar más allá de toda duda razonable si el sistema solar es inerte a la vida con excepción de nuestro planeta. Y aunque no se descarta que una civilización haga contacto con nosotros en los próximos años, la probabilidad de que ello ocurra es baja. Pero de llegarse a presentar, nuestra percepción del mundo cambiará a escalas que ni siquiera imaginamos.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece las sugerencias de las profesoras Nubia Matta y Martha Bueno así como los aportes y recomendaciones de un árbitro anónimo.

BIBLIOGRAFÍA

- AIKAWA Y, OHASHI N, HERBST E. Molecular Evolution in Collapsing Prestellar Cores. II. The Effect of Grain-Surface Reactions. *Astrophys J.* 2003;593:906-924.
- ALBRECHT A, STEINHARDT PJ. Cosmology For Grand Unified Theories With Radiatively Induced Symmetry Breaking. *Phys Rev Lett.* 1982;48(17):1220-1223.
- BALL JA. The Zoo Hypothesis. *Icarus.*1973;19(3):347-349.
- BETHE H. Energy Production in Stars. *PhysRev.*1939;55:434-456.

BOUNAMA C, VON BLOH W, FRANCK S. How Rare Is Complex Life in the Milky Way?. *Astrobiology*. 2007;7(5):745-756.

CAMI J, BERNARD-SALAS J, MALEK SE. Detection of C60 and C70 in a Young Planetary Nebula. *Science*. 2010;329(5996):1180-1182.

CATALDO F, KEHEVAN Y. The Problem of the Origin of Life: A General Survey with a Exobiological Cut. En *Studies in Biochemistry and Biochemistry*, G.E. Zaikov & V.M.M. Lobo (Editores), Nova Science Publishers, New York; 2003.

CLARK RN, CURCHIN JM, BARNES JW, JAUMANN R, SODERBLOM L, *et al.* Detection and Mapping of Hydrocarbon Deposits on Titan. *J Geophysical Res*. 2010;115;E10005: doi:10.1029/2009JE003369.

COCCONI G, MORRISON P. Searching for Interstellar Communication. *Nature*. 1959;184:844-846.

DVORAK R. *Extrasolar Planets*. Darmstadt: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co; 2008.

ENGEL MH, NAGY B. Distribution and Enantiomeric Composition of Amino Acids in the Murchison Meteorite. *Nature*. 1982;296:837-840.

GLAVIN DP, AUBREY AD, CALLAHAN MP, DWORKIN JP, ELSILA JE, PARKER ET, BADA JL, JENNISKENS P, SHADDAD MH. Extraterrestrial Amino Acids in the Almahata Sitta Meteorite. *Meteorit Planet Sci*. 2010;45(10-11):1695-1709.

GRAY R, MARVEL K. A VLA Search for the Ohio State "Wow". *Astrophys J*. 2001;546(2):1171-1177.

HERBST E, KLEMPERER W. The Formation and Depletion of Molecules in Dense Interstellar Clouds. *Astrophys J*. 1973;185:505-534.

HINSHAW G. Five-Year Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP) Observations: Data Processing, Sky Maps and Basic Results. *Astrophys J Suppl Ser*. 2009;180(2):225-245.

HOWARD A. The Occurrence and Mass Distribution of Close-in Super-Earths, Neptunes, and Jupiters. *Science*. 2010;330:653-655.

HUBBLE E. A Relation Between Distance and Radial Velocity Among Extra-Galactic Nebulae. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1929;15(3):168-173.

KUAN Y-J, CHARNLEY SB, HUANG H-C, TSENG W-L, KISIEL Z. Interstellar Glycine. *Astrophys J*. 2003;593(2):848-867.

LARSON RB, BROMM V. The First Stars in the Universe. *Sci Am*. 2001;52-59.

MCCREA WH, MCNALLY D. The formation of Population I stars, II. The Formation of Molecular Hydrogen in Interstellar Matter. *Mon Not R Astron Soc*. 1960;121:238-251.

MAYOR M, QUELOZ D. A Jupiter-mass Companion to a Solar-type Star. *Nature*. 1995;378:355-359.

MUMMA MJ, VILLANUEVA GL, NOVAK RE, HEWAGAMA T, BONEV BP, MICHAEL A, DISANTI MA, MANDELL AM, SMITH MD. Strong Release of Methane on Mars in Northern Summer 2003. *Science*. 2009;323(5917):1041-1045.

PENZIAS AA, WILSON RW. A Measurement of Excess Antenna Temperature at 4080 Mc/s. *Astrophys J*. 1965;142:419-420.

SCHMITT-KOPPLIN P, GABELICA Z, GOUGEONC RD, FEKETE A, KANAWATI B, HARIR M, GEBEFUEGI I, ECKELD G, HERTKORN N. High molecular diversity of

Extraterrestrial Organic Matter in Murchison Meteorite Revealed 40 Years After its Fall. Proc Natl Acad Sci U S A. 2010;107(7):2763-2768.

VOGT SS. The Lick-Carnegie Exoplanet Survey: A 3.1 M_{Earth} Planet in the Habitable Zone of the Nearby M3V Star Gliese 581. <http://arxiv.org/abs/1009.5733>

WARD P, BROWNLEE D. Rare Earth: Why Complex Life is Uncommon in the Universe. New York: Springer-Verlag; 2000.

YIN Q, JACOBSEN SB, YAMASHITA K, Blichert-Toft J, Télouk P, Albarède F. A Short Timescale for Terrestrial Planet Formation from Hf-W Chronometry of Meteorites. Nature. 2002;418:949-952.