

¿Regla o excepción?

Ana López Sepulcre

Recibido 30.07.2014 - Aceptado 10.09.2014

Resumen / Abstract / Résumé

Nuestro planeta Tierra es hoy el único lugar conocido que alberga vida. La posible existencia de vida extraterrestre es una cuestión que ha fascinado a la humanidad durante siglos. Desde el punto de vista científico, obtener una respuesta requiere un enorme esfuerzo colaborativo entre múltiples campos de investigación científica que incluyen astronomía, física, química, biología, geología, e incluso filosofía de la ciencia. Lejos de ser exhaustivo, el presente dossier expone diferentes piezas del enorme rompecabezas que es la astrobiología, desde la exploración de nuestro Sistema Solar hasta el de los exoplanetas (planetas orbitando alrededor de otras estrellas). El dossier subraya el importante papel que juega la investigación europea para conseguir el nivel de conocimiento que poseemos, incluyendo un artículo entero dedicado a la misión espacial JUICE, de la ESA (European Space Agency), como ejemplo ilustrativo. El último artículo aborda áreas más imaginativas que describen la conexión que existe entre la música y la exploración del cosmos, mostrando que la astronomía y el arte van muy frecuentemente de la mano.

Our planet, Earth, is the only place currently known to harbour life. Whether life as we know it exists or not elsewhere is a subject that has fascinated humankind for centuries. On the scientific side, providing an answer to this question requires a huge collaborative effort from many different fields of research that include astronomy, physics, chemistry, biology, geology, and even philosophy of science. While far from being exhaustive, this dossier presents different pieces of the huge puzzle known as astrobiology, from the exploration of our Solar System to that of the so-called exoplanets (planets orbiting around other stars). Special attention is given to highlight the crucial role of European research to achieve the level of understanding we now have on the matter, including a whole article devoted to the promising European Space Agency (ESA) space mission JUICE as an illustrative example. Finally, the last article dives into more imaginative areas by describing the connection between music and the exploration of the cosmos, showing how astronomy and arts very frequently go hand in hand.

Notre planète Terre est aujourd'hui le seul endroit connu abritant la vie. La possibilité que la vie existe ailleurs est une question qui a fasciné l'humanité pendant des siècles. Du point de vue scientifique, obtenir une réponse à cette question requiert un énorme effort collaboratif entre plusieurs domaines de recherche qui incluent astronomie, physique, chimie, biologie, géologie et même philosophie de la science. Loin d'être exhaustive, ce dossier présente différentes pièces de cet énorme puzzle connu sous le nom d'astrobiologie, dès l'exploration de notre Système Solaire à celle des exoplanètes (planètes orbitant autour d'autres étoiles). Le dossier souligne l'important rôle joué par la recherche européenne pour arriver au niveau de connaissance actuel, en incluant, comme exemple illustratif, un article entièrement dédié à la mission spatiale JUICE, de l'ESA (European Space Agency). Le dernier article aborde sujets plus imaginatifs qui décrivent la connexion existant entre la musique et l'exploration du cosmos, ce qui montre que l'astronomie et l'art sont souvent liés.

Palabras clave / Key Words / Mots-clé

Astronomía, biología, música, ciencia, arte

Astronomy, biology, music, science, art

Astronomie, biologie, musique, science, art

¿Estamos solos? En busca de vida extraterrestre

Como astrónoma, en varias ocasiones he tenido el placer de guiar visitas nocturnas al telescopio del observatorio de Grenoble (Francia). Uno de los momentos más gratificantes es aquél en el que los visitantes pierden su timidez

y se lanzan a hacer preguntas, frecuentemente relacionadas con el origen del Universo, su enormidad, o la posible existencia de universos paralelos. Pero sin duda una de las preguntas más formuladas es si existe vida extraterrestre. Esta pregunta en apariencia simple e inocente está bien lejos de serlo. Actualmente no existe una respuesta clara, y sus implicaciones, tanto científicas como sociales, no se conocen todavía. Además, basta reflexionar sólo un poco para darse cuenta de que cualquiera de las dos respuestas posibles resulta, cuanto menos, inquietante.

Pero pongamos que queremos dar una respuesta al visitante. Basándonos en lo que se conoce hoy, la más corta sería: “No, hoy no conocemos vida más allá de nuestro planeta”. Sin embargo, con esta respuesta sólo lograríamos dar una visión limitada y quizás demasiado rigurosa desde el punto de vista científico, ganando puntos para el premio al científico más aburrido del planeta frente a una audiencia con ganas de escuchar especulaciones al respecto. En efecto, no estaríamos poniendo todas las cartas sobre la mesa si no mencionáramos al menos un controvertido artículo científico publicado en *Science* en 1996 (McKay *et al.*, 1996: 924) en el cual se mostraban las imágenes microscópicas de unas misteriosas estructuras en el meteorito ALH84001, una roca muy primitiva de más de cuatro mil millones de años procedente del planeta Marte. Por su forma, estas estructuras fueron interpretadas por los autores como posibles fósiles de formas de vida de origen bacteriano, y los resultados de los análisis descartaron la posibilidad de contaminación terrestre, confirmando el origen exógeno de dichos “micro-fósiles”. Este descubrimiento marcó un momento histórico, pues aportaba la primera pista científica de que la vida podría haber existido fuera de nuestro planeta, en este caso en Marte, hace muchísimo tiempo. Sin embargo, la comunidad científica siempre ha sido muy crítica con estos resultados, argumentando que la morfología no puede utilizarse como única herramienta que justifique sin ambigüedad la detección de vida primitiva. Por tanto, la existencia de vida no terrestre queda aún por confirmar. Aún así, la noticia se extendió rápidamente por todo el mundo, apareciendo en los titulares de múltiples periódicos y noticieros, e incluso provocaron que el entonces presidente de los Estados Unidos, Bill Clinton, anunciara el evento formalmente en la televisión¹. Está claro que, si bien las pruebas científicas no son todavía concluyentes, descubrimientos como éste nunca dejan de

atraer la atención de cualquier ser humano mínimamente curioso.

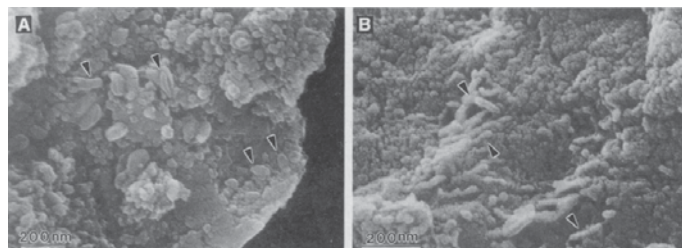


Figura 1: Imágenes microscópicas del meteorito ALH84001 mostrando estructuras alargadas y ovoides (marcadas con flechas) que podrían tener un origen biológico (McKay *et al.*, 1996: 924).

Dejando a un lado la falta de pruebas científicas, y quizá también la insuficiencia de los medios tecnológicos actuales para detectar vida extraterrestre, parecería que las probabilidades hablan a favor de su existencia, o por lo menos, a favor de su potencial existencia. Por ejemplo, el agua líquida, considerada crucial para el desarrollo de vida tal y como la conocemos, podría haber existido en abundancia sobre la superficie marciana hace miles de millones de años. Pero quizás no haga falta mirar al pasado. Europa y Encelado, satélites de Júpiter y Saturno respectivamente, muestran hoy indicios claros de contener un vasto océano de agua líquida varios kilómetros por debajo de sus costras heladas, convirtiéndolos en dos de los mejores candidatos de nuestro sistema planetario potencialmente habitables fuera de la Tierra. Obviamente no esperamos una biodiversidad tan marcada como la que presenta nuestro planeta, pero seres vivos microscópicos de tipo bacteriano podrían sobrevivir o haberlo hecho en entornos como la superficie de Marte o los océanos subterráneos de Europa y Encelado. Y esto sin salir de nuestro “pequeño” Sistema Solar.

Hoy en día, las probabilidades se multiplican con el enorme progreso que ha hecho la comunidad astronómica en la búsqueda de planetas extrasolares o exoplanetas, es decir, aquéllos que orbitan alrededor de otras estrellas. En los últimos 20 años hemos confirmado con creces lo que ya en el siglo XVI predijo el astrónomo italiano Giordano Bruno:

¹ La transcripción del discurso puede encontrarse en el enlace <http://www2.jpl.nasa.gov/snc/clinton.html>

Or ecco, vi porgo la mia contemplazione circa l'infinito, universi e mondi innumerabili.

Desde la detección del primer exoplaneta en 1995, marcando uno de los más importantes descubrimientos de la historia de la ciencia, han sido confirmados más de 1800, varios de ellos similares a la Tierra. Y eso considerando sólo las estrellas más cercanas a nosotros, que representan una mínima fracción del número total de estrellas de nuestra Galaxia, la Vía Láctea, por no hablar de todas las que hay más allá. Cuesta creer que estemos solos en el Universo.

Los más optimistas creen que incluso la vida *inteligente* podría estar más extendida de lo que nos diría nuestra razón. El Dr. Frank Drake propuso en 1961 una ecuación para estimar el número de civilizaciones tecnológicamente avanzadas presentes y detectables en la Vía Láctea. La famosa ecuación de Drake se basa en factores astronómicos como la fracción de estrellas en nuestra Galaxia compatibles con la vida (similares a nuestro Sol) o el número de planetas similares a la Tierra alrededor de cada estrella. Pero también incluye factores biológicos y sociales como la probabilidad de que un sistema de seres vivos evolucione hacia una especie inteligente, así como la fracción de civilizaciones inteligentes que utilizan una tecnología que podríamos detectar, como por ejemplo emisiones de radio ondas. El mismo Drake estimó que sólo en la Vía Láctea podría haber unas diez mil civilizaciones. Evidentemente, esta ecuación, aunque científicamente aceptada, presenta factores que son difíciles o imposibles de cuantificar hoy en día, y se basa en puras especulaciones probabilísticas, por lo que la estimación numérica debería tomarse como una mera conjetura. Aún así, ya ha habido varios intentos serios de comunicación con posibles extraterrestres inteligentes. El programa SETI (Search for ExtraTerrestrial Intelligence) utiliza radio telescopios y otros instrumentos para intentar detectar posibles señales provenientes de civilizaciones extraterrestres tecnológicamente avanzadas. Curiosamente, la comunidad científica está muy dividida al respecto. Dos notables científicos de alto nivel con opiniones completamente opuestas son Carl Sagan, que siempre apoyó la transmisión de mensajes al espacio, y Stephen Hawking, quien aconseja que no es prudente, sugiriendo que los extraterrestres simplemente arrasarían la Tierra aprovechándose de sus recursos naturales y seguirían adelante en su viaje espacial. Vemos así que, aunque conviene

siempre recordar que estamos aún bien lejos de comunicarnos con alienígenas, el asunto puede tomar fácilmente connotaciones sociales, éticas, y políticas. Quién sabe si en unas décadas habrá que reflexionar seriamente al respecto.

Sin alimentar excesivamente la imaginación, vamos por el momento a quedarnos con la idea de que, aunque no hay pruebas definitivas todavía, algunos indicios y probabilidades sugieren que la vida puede existir más allá de nuestro minúsculo planeta azul. Necesitamos sólo seguir avanzando para intentar encontrar el modo de detectarla, si la hay. Y en ello estamos. Algo que hace 50 años no era mucho más que ciencia ficción, hoy en día es uno de los principales objetivos de un campo científico que tiene nombre propio: la *astrobiología*.

Astrobiología, moderna y ancestral a la vez

Aunque su nombre parezca indicar que se trata de una combinación de astronomía y biología, lo cierto es que la astrobiología es mucho más que eso: astronomía, física, química, biología, geología, ingeniería, informática, matemáticas e incluso filosofía de la ciencia se especializan y unen en un inmenso esfuerzo interdisciplinario para abordar científicamente tres de las mayores curiosidades del ser humano. ¿Cómo se origina y evoluciona la vida? ¿Hay vida más allá de la Tierra, y si es así, cómo podemos detectarla? ¿Cuál es el futuro de la vida sobre la Tierra y fuera de ella?

La astrobiología comprende la búsqueda de evidencia de química prebiótica, así como de indicios de vida pasada y presente en otros planetas/satélites del Sistema Solar y extrasolares. También incluye trabajo de laboratorio y de campo con el fin de entender el origen y la evolución de la vida en la Tierra, y estudios sobre el potencial que tiene la vida para sobrevivir y adaptarse a cambios en nuestro planeta y fuera de él. Múltiples aspectos físicos y químicos sobre la formación del Sistema Solar y el de otros sistemas planetarios en nuestra Galaxia también están entre los temas de interés de la astrobiología, por su influencia sobre la aparición y desarrollo de la vida.

El término *astrobiología* es bastante reciente, data de mediados de los años 90. Sin embargo, la ciencia en sí tiene

una historia algo más larga. Sin ser exhaustivos vamos a mencionar aquí, en orden cronológico, tres descubrimientos clave que han contribuido enormemente a la creación, estimulación y/o desarrollo de la astrobiología como campo científico.

El primero, de carácter bioquímico, es un famoso experimento realizado en 1953 por los investigadores Stanley Miller y Harold Urey, de la Universidad de Chicago (Estados Unidos). En dicho experimento, simularon las condiciones atmosféricas y de agua líquida presentes en la Tierra primitiva, introdujeron calor para evaporar el agua y chispas entre dos electrodos para simular relámpagos, y después de tan solo una semana consiguieron sintetizar varios compuestos orgánicos complejos cruciales para la vida, entre los cuales varios aminoácidos. Aportaban así pruebas a favor de una de las dos grandes hipótesis propuestas para explicar el origen de la vida sobre la Tierra, en la cual los compuestos orgánicos que son comunes en los seres vivos se formaron sobre la Tierra a partir de compuestos o elementos inorgánicos, un proceso conocido como *química prebiótica*. Experimentos similares al de Miller y Urey fueron llevados a cabo después con resultados muy similares o incluso más favorables. Sin embargo, éstos no descartan la otra gran hipótesis, conocida como *panspermia*, que propone que los primeros elementos clave para la vida, o incluso alguna forma primitiva de vida, se formaron en otro planeta o cuerpo celeste con condiciones más favorables, y fueron después transportados a la Tierra. Un gran meteorito que cayó en Australia en 1969 resultó contener varios tipos de aminoácidos, y estos compuestos han sido detectados también en cometas. Sabiendo que durante sus primeros cientos de millones de años la Tierra fue bombardeada por cometas y meteoritos, la hipótesis de panspermia no puede rechazarse. Si bien parece claro que de compuestos simples e inorgánicos se sintetizan compuestos orgánicos más complejos, queda por determinar cuándo y dónde ocurrió esto en el pasado: ¿Sobre la Tierra una vez ésta se formó hace cuatro mil seiscientos millones de años? ¿O en otro cuerpo celeste mucho antes de la formación de la Tierra? La comunidad científica está, de nuevo, dividida al respecto.

El segundo gran descubrimiento, biológico, es en realidad una serie de hallazgos que fueron produciéndose principalmente durante los años 80 y 90. Quizás el primero ocurrió

en 1977, cuando el sumergible americano *Alvin* descendió a las profundidades del océano Pacífico junto a las islas Galápagos. Nadie habría imaginado que a varios kilómetros de profundidad, donde reina la oscuridad más absoluta, habría formas de vida. Sin embargo, ahí están: gigantescas almejas y gusanos marinos de varios metros de longitud que no necesitan la luz del sol para sobrevivir. Las chimeneas termales submarinas por las que el agua aflora a varios cientos de grados de temperatura proporcionan un hábitat propicio para unas raras bacterias de las que se alimentan las almejas y gusanos que pueblan el lugar. Éste fue el punto de inflexión que transformó la visión limitada que hasta entonces habían tenido los biólogos: la vida no requiere la luz del sol. Desde este descubrimiento, numerosos organismos microscópicos, conocidos como *extremófilos* (que aman las condiciones físicas/químicas extremas), han sido descubiertos en una variedad de ambientes en los que la vida humana, y no únicamente la humana, sería impensable. Temperaturas tan altas como 120° C, o tan bajas como -15° C, ambientes de muy alta acidez, o por el contrario muy alcalinos; zonas hipersalinas, o que carecen de agua, son sólo algunos ejemplos de los ambientes extremos –desde el punto de vista humano– en los que se han hallado microorganismos que no pueden sobrevivir si no es en lugares que satisfacen una o varias de estas condiciones. Desde el punto de vista astrobiológico, la existencia de extremófilos aumenta las probabilidades de hallazgo de vida extraterrestre, pues ésta puede prosperar en condiciones que se pueden encontrar, por ejemplo, en el vasto océano líquido subterráneo del satélite joviano Europa, en los casquetes polares helados de Marte, o en los géiseres de agua caliente que emanan de Encelado, uno de los satélites de Saturno.

Un tercer descubrimiento, esta vez astronómico y ya mencionado en la sección anterior, es la detección de planetas extrasolares. En 1995, el primer planeta orbitando una estrella como nuestro sol fue detectado por un grupo suizo, y meses más tarde, un equipo norteamericano descubrió otros dos. Así empezó la frenética búsqueda de exoplanetas, que hoy se cuentan en más de 1800 y que constituye una de las áreas más activas de la astronomía. Aunque los primeros descubrimientos se trataron de planetas gigantes como Júpiter, poco propicios para albergar vida tal y como la conocemos, en los últimos años se han ido descubriendo exoplanetas cada vez más pequeños, de tipo terrestre, prometedores candidatos para la búsqueda de indicios

biológicos. Estudios de las atmósferas de estos planetas pueden aportar pistas sobre su habitabilidad. Un ejemplo es el oxígeno molecular, O₂: su detección en atmósferas de exoplanetas de tipo terrestre en concentraciones similares a las de nuestro planeta podrían ser indicativos de la presencia de vida. Muy recientemente han sido propuestos otros gases atmosféricos, compuestos que contienen flúor y/o cloro (Lin *et al.*, 2014), cuya detección apuntaría a la existencia de vida inteligente (o no demasiado inteligente, pues son compuestos antropogénicos que aumentan el nivel de contaminación atmosférica en la Tierra). La detección de improntas biológicas en las atmósferas exoplanetarias será posible en los próximos años con la tecnología del telescopio espacial JWST (James Webb Space Telescope), sucesor del famoso telescopio espacial *Hubble*, que será lanzado en 2018 y operado conjuntamente por la NASA (North American Space Agency), la ESA (European Space Agency) y la CSA (Canadian Space Agency).

Los tres grandes hallazgos descritos, así como otros que no hemos mencionado pero que iremos desvelando a lo largo de este dossier, son bastante recientes, datando todos de la segunda mitad del siglo XX. Podría dar la impresión de que la astrobiología es pues un campo muy joven. Sin embargo las preguntas que plantea e intenta responder son tan antiguas como la civilización. Mitologías, religiones, y filosofía siempre han intentado explicar nuestros orígenes y comprender nuestro lugar en este Universo, planteando cuestiones que han formado parte de la humanidad durante siglos y hasta milenios. La astrobiología ha pasado a ser de dominio científico sólo en los últimos años, y tiene por delante un futuro prometedor. ¿Estamos solos en el Universo? Gracias a los impresionantes avances científico-tecnológicos que se están llevando a cabo, tal vez tengamos la suerte de conocer la respuesta en los próximos 20 años.

La pregunta clave

Llegados a este punto, cabe mencionar que hoy todavía no existe una respuesta completamente satisfactoria a la pregunta más importante: ¿Qué es la vida? O más específicamente ¿dónde está exactamente el límite entre lo inerte y lo vivo? Como ya sugirió Hogben en 1930 (Hogben, 1930: 80):

No problem of philosophy is more fundamental than the nature of life.

La definición de vida, o de ser vivo, es aún hoy motivo de grandes debates de naturaleza tanto filosófica como científica, y existen hasta libros enteramente dedicados a intentar aportar pistas. Un ejemplo conocido es el libro que publicó en 1944 el ganador del premio nobel de física Erwin Schrödinger, “What is Life?”, un referente para numerosos físicos, químicos y biólogos, donde el autor aborda el problema basándose en las leyes de la física.

Generalmente, los intentos por definir lo que está vivo consisten en una lista de procesos y propiedades que debe necesariamente satisfacer todo ser vivo: reproducción, auto-organización, variación o mutación, reacción al ambiente, etc. El problema de este tipo de definición es que frecuentemente obliga a calificar como ser vivo a sistemas que según nuestra intuición no lo son. Un ejemplo clásico es el de las estructuras cristalinas, que se replican, se auto-organizan y reaccionan al ambiente. Casos más sofisticados como los virus también provocan serias dudas y debates, pues actúan como seres vivos sólo cuando infectan a otro ser vivo. Tal vez, como propone el profesor de filosofía de la ciencia e investigador Christophe Malaterre, un error es presuponer que la vida es una propiedad o una serie de propiedades que se dan de manera dicotómica (Huet, 2013: 40). Una posible solución estaría pues en aceptar que no existe una frontera clara entre lo vivo y lo inerte, y que hay toda una transición de sistemas que pueden estar más o menos vivos, como los virus.

Puesto que podríamos llenar diez dossiers como éste con largas discusiones sobre lo que es y no es vida, conformémonos aquí con ser conscientes de la complejidad del problema y dejémonos guiar por nuestra idea intuitiva de lo que es la vida antes de continuar nuestro viaje por el mundo de la astrobiología.

Algunas piezas del rompecabezas

El presente dossier expone diferentes piezas del enorme rompecabezas que representa hoy la astrobiología. Aunque el enfoque es algo científico, pues todos los autores pertenecen al mundo de la investigación científica, el contexto

no deja de ser de naturaleza filosófica, e incluso social, ética y política, hecho que se recuerda en los artículos que siguen, ya que los grandes interrogantes que se intentan responder son los mismos que se plantea la humanidad desde los orígenes de su existencia.

Haremos énfasis particularmente en el lado más “astro” de la astrobiología, sin el cual sería imposible evaluar la posibilidad de que florezca vida fuera de nuestro planeta, y gracias al cual podemos comprender mejor la naturaleza de la vida terrestre. Sin ir más lejos, los elementos más básicos y cruciales para la vida, como el carbono, el oxígeno o el nitrógeno, no sólo están presentes en cualquier lugar del Universo, sino que se sintetizan exclusivamente en el interior de las estrellas. Además, los microscópicos granos de polvo interestelares, a partir de los cuales se formarán planetas como nuestra Tierra, tienen su origen en las eyecciones de materia y explosiones finales de una estrella moribunda. Podemos afirmar sin temor a equivocarnos que sin estrellas no existiría la vida tal y como la conocemos, y que la influencia de los fenómenos astronómicos sobre su aparición y desarrollo es innegable. Así pues, la expresión “somos polvo de estrellas” no es ninguna metáfora.

Una de las piezas clave de la astrobiología es comprender la formación del Sistema Solar y las primeras etapas de su juventud, pues diferentes factores de este proceso pueden haber determinado la aparición de vida sobre la Tierra. Existen esencialmente dos enfoques para abordar el tema. El primero consiste en la exploración *in situ* de otros planetas o cuerpos celestes menores (cometas, asteroides, etc.) de nuestro Sistema Solar a través de misiones espaciales, así como en el análisis directo de meteoritos que caen sobre la superficie terrestre. El segundo artículo de este dossier habla precisamente de estos *cosmomateriales*, pequeñas rocas extraterrestres muy primitivas que contienen pistas cruciales acerca de la composición química inicial de nuestro sistema planetario, incluyendo compuestos orgánicos de interés bioquímico. Sin duda este tipo de estudios son críticos para entender nuestros orígenes, pues se basan en materiales que se han mantenido intactos, sin sufrir apenas cambios químicos, durante miles de millones de años, representando auténticos fósiles que datan de la época en que se formó el sol y su sistema planetario. El artículo describe también algunas de las misiones espaciales más importantes, como la europea ROSETTA, dirigida

hacia un cometa para estudiar su química y geología. Los cometas, objetos celestes espectaculares cuando se acercan al sol, son cuerpos también muy primitivos, y por tanto espejos de las primeras etapas de vida del Sistema Solar.

Pero la comprensión de la formación del Sistema Solar no se limita a explorar planetas, meteoritos, y cometas en las inmediaciones de la Tierra. Algo que no parece muy evidente cuando contemplamos un cielo estrellado es que el Universo no es ni estático ni eterno. Las estrellas tienen un origen y no siempre han estado ahí. Pero lo que todavía es más importante es que hay estrellas en formación *hoy*. Y podemos observarlas. Estudiando cómo nacen otras estrellas y sus respectivos sistemas planetarios podemos entender mejor cómo se formó el nuestro. Cabe destacar aquí que la formación de una estrella no es un fenómeno precisamente rápido a escala humana, pues dura habitualmente más de cien mil años. No podemos sentarnos delante de nuestro telescopio una noche y observar cómo una enorme nube fría de gas y granitos de polvo se transforma en una estrella y un disco de planetas, pero sí podemos identificar diferentes regiones de formación estelar en el cielo que representan distintas etapas del proceso, y comparar sus propiedades. Es así como podemos obtener una idea de las diferentes etapas evolutivas implicadas en la formación estelar y planetaria. Los dos artículos que siguen al segundo tratan el nacimiento de estrellas como nuestro sol desde el punto de vista astroquímico. La astroquímica es una rama científica relativamente reciente que en los últimos años está recibiendo una atención especial, en parte por sus descubrimientos de interés astrobiológico. Sin entrar en detalles, éstos pueden resumirse en dos categorías. La primera está relacionada con la complejidad molecular observada en las llamadas “nubes moleculares”, que no son más que regiones donde una o varias estrellas se están formando. En estas nubes, principalmente compuestas de hidrógeno molecular, H_2 , y granos microscópicos de polvo, se pueden encontrar muchos tipos de moléculas entre las cuales se hallan las orgánicas. El estudio del grado de complejidad molecular que adquieren estas nubes pre-estelares, en particular cuando se trata de compuestos orgánicos, es uno de los grandes objetivos de la astroquímica y constituye también una parte fundamental de la astrobiología. La segunda categoría está relacionada con el agua, o H_2O , una molécula tan clave para la vida como químicamente simple. Puesto que ésta abunda en todas las regiones de

formación estelar, su estudio es otro de los pilares fundamentales de la astroquímica. Éstos dos aspectos, la complejidad molecular y el agua, son los que abordan el tercer y cuarto artículos de este dossier.

Un quinto artículo trata el problema de la *habitabilidad* de un planeta, es decir, evalúa las condiciones que se creen necesarias o favorables para que pueda surgir y florecer vida en un planeta, desde las propiedades de la estrella anfitriona a aquéllas del propio planeta. Numerosos factores deben entrar en juego y crear en su conjunto un equilibrio propicio para el desarrollo de la vida. Es éste un artículo para reflexionar y apreciar todo lo que nos ha regalado nuestra Tierra y nuestro Sol, algo que demasiadas veces subestimamos.

La astrobiología está muy probablemente empezando a entrar en su época dorada en gran medida gracias a las misiones espaciales, ya sean en forma de telescopios espaciales o de sondas exploratorias dirigidas hacia planetas u otros cuerpos celestes del Sistema Solar. La ESA está actualmente a la vanguardia en cuanto a misiones espaciales se refiere, como lo demuestran, por ejemplo, los numerosos éxitos del satélite espacial *Herschel*, que operó entre 2010 y 2013, y la prometedora misión JUICE (JUpter ICy moons Explorer), que será lanzada en 2022 con el objetivo de llegar a Júpiter en 2030 y estudiar sus satélites, en especial aquéllos potencialmente habitables como Europa o Ganimedes. El sexto artículo describe los detalles de esta misión europea, así como los enormes esfuerzos y colaboraciones internacionales que se requieren para conseguir llevarla a cabo con éxito.

Finalmente, el último artículo pretende dar una visión diferente de los astrónomos, que no dejamos de ser seres humanos y como tales tenemos otras pasiones e inquietudes. Entre ellas se encuentran obviamente los grandes interrogantes filosóficos que se esconden detrás de cada pregunta que intentamos responder siguiendo el método científico. Pero muy frecuentemente hay también una afinidad por el arte. En particular, la música parece tener una conexión especial con la astronomía. Tanto es así que la música y la astronomía han estado íntimamente relacionadas en varios períodos de la historia, como relata en detalle el último artículo del dossier. No es casualidad que en las naves espaciales *Voyager*, lanzadas en 1977 para

estudiar Júpiter y Saturno y aún operativas, viaje un disco, el “Voyager Golden Record”², conteniendo música de diferentes lugares y culturas del mundo, así como grabaciones de sonidos naturales (viento, pájaros, ballenas...). Éste fue el mensaje que el Presidente Carter quiso dar a la civilización que hipotéticamente podría interceptar las naves *Voyager*:

We cast this message into the cosmos ... Of the 200 billion stars in the Milky Way galaxy, some –perhaps many– may have inhabited planets and space faring civilizations. If one such civilization intercepts Voyager and can understand these recorded contents, here is our message: This is a present from a small distant world, a token of our sounds, our science, our images, our music, our thoughts, and our feelings. We are attempting to survive our time so we may live into yours. We hope some day, having solved the problems we face, to join a community of galactic civilizations. This record represents our hope and our determination and our goodwill in a vast and awesome universe.

Hoy, las *Voyager* ya han cruzado el límite del Sistema Solar, convirtiéndose en los primeros objetos fabricados por humanos que penetran la desconocida región conocida como espacio interestelar.

Anejo: El espectro electromagnético

Exceptuando los estudios directos de meteoritos y aquéllos realizados por sondas espaciales dirigidas a planetas y otros cuerpos del Sistema Solar, los astrónomos tenemos esencialmente un sólo mecanismo para extraer información: el análisis de la luz –o como solemos decir más técnicamente, el espectro electromagnético– proveniente de los astros. Por suerte o por desgracia, no podemos analizar una estrella en el laboratorio para medir su temperatura, su edad, su masa, su composición química, etc. Todo esto tenemos que hacerlo a través de lo que observamos de ellas. Podría decirse que el trabajo de un astrónomo consiste en “descodificar la luz” que emiten –o absorben– los astros. La luz es tan fundamental para la astronomía que merece

² La lista de piezas musicales se encuentra en el enlace <http://voyager.jpl.nasa.gov/spacecraft/music.html>

una sección a parte. La astronomía sin luz no existiría, de la misma manera que no podría existir la literatura sin lenguaje.

Todos tenemos una noción intuitiva de lo que es la luz, pero científicamente es uno de los conceptos más difíciles de definir. Una de las características que complican su definición es que se comporta a la vez como onda (electromagnética) y como partícula, llamada *fotón*. Sin detenernos a explorar todos los detalles, destacamos aquí la vasta gama de *longitudes de onda*³ o “colores” que contiene el espectro electromagnético. En efecto, el ojo humano percibe multitud de colores diferentes, cada uno de los cuales está caracterizado por una longitud de onda determinada. Por ejemplo, el rojo tiene una longitud de onda mayor que el azul. Nos podrá parecer que nuestros ojos captan todo tipo de detalles gracias a su capacidad para distinguir colores, pero la realidad es que detectan sólo una ínfima parte del espectro electromagnético completo. Existen muchísimos más colores que son invisibles para nosotros, como se indica en la Figura 2. En efecto, más allá del rojo encontramos las ondas infrarrojas, las microondas y las ondas radio. Al otro lado del espectro visible, pasado el violeta se hallan los rayos ultravioletas, los rayos X y los gamma. Estos nombres nos resultarán familiares por varios motivos, pero no es evidente para todos que pertenecen al mismo mundo de la luz visible y que corresponden simplemente a longitudes de onda que nuestros ojos no son capaces de detectar. Pero sí lo pueden hacer los instrumentos específicamente diseñados para ello. Seamos claros: no existe ningún detector universal que sea capaz de “ver” todas las longitudes de onda, pero sí hay diferentes tipos de instrumentos sensibles a distintas regiones del espectro electromagnético. Los detectores de rayos X empleados en medicina no sirven para captar ondas de radio, y viceversa.

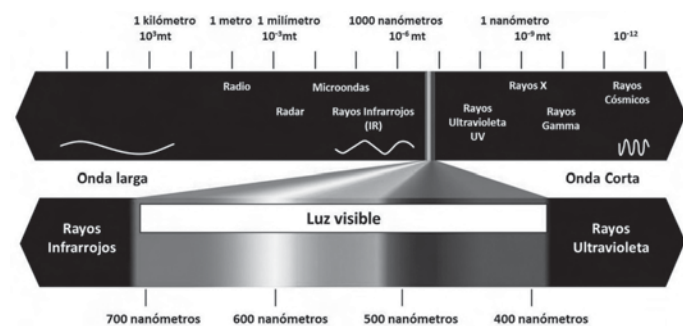


Figura 2: Diagrama esquemático del espectro electromagnético.

Si los astrónomos nos limitásemos a observar sólo la luz visible, nuestro nivel de conocimiento sería muy inferior al que tenemos. Por eso en astronomía y astrofísica se aprovecha toda la gama de longitudes de onda, utilizando telescopios especializados, y cada zona del espectro electromagnético nos aporta una visión diferente del Universo. Esta idea está bien ilustrada en la Figura 3, donde se muestra una imagen de la Vía Láctea vista en diferentes longitudes de onda. No es difícil notar que el polvo interestelar frío que nuestros ojos ven como manchas negras (es decir, en absorción), un telescopio infrarrojo o un radio telescopio lo ve en emisión intensa. En otras palabras, lo que en luz visible se ve oscuro, en ondas radio o infrarrojas se ve brillante. Utilizando y combinando imágenes del cielo a distintas longitudes de onda, los astrónomos son capaces de extraer multitud de información de naturaleza física o química: la temperatura de un astro, su edad, la velocidad a la que se desplaza, su composición química, y su masa, son sólo algunos ejemplos de lo que el espectro electromagnético nos permite medir.

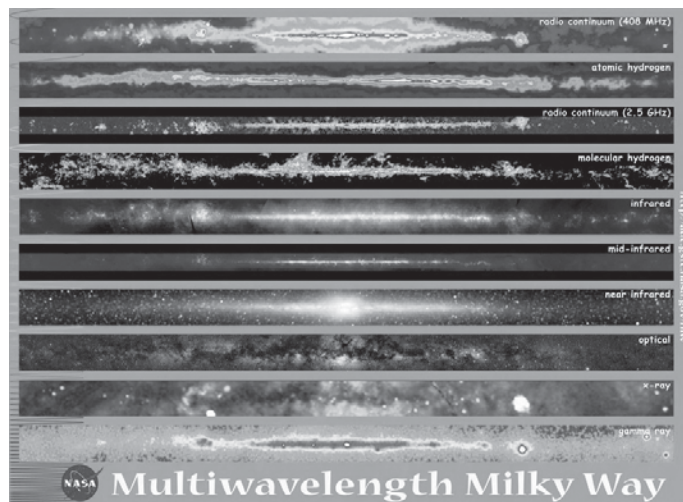


Figura 3: La Vía Láctea vista en diferentes longitudes de onda, desde las más largas (arriba), hasta las más cortas (abajo), pasando por la luz visible u óptica.

Otro aspecto de vital importancia para la astronomía es la presencia de atmósfera, con la que los astrónomos tenemos una relación de amor-odio. Por un lado, la atmósfera te-

³ La longitud de onda es la distancia entre dos máximos consecutivos de una perturbación periódica u onda.

El espacio exterior nos protege de los rayos ultravioletas, X y gamma, perjudiciales para la salud o incluso letales. Pero, por esta misma razón, los fotones provenientes del espacio exterior a estas longitudes de onda, así como una gran parte del infrarrojo y algunas ondas radio, no son detectables desde la superficie terrestre, pues nuestra atmósfera los absorbe. Además, la turbulencia atmosférica degrada la calidad de las imágenes del cielo. Es por estos motivos por los que la mayor parte de telescopios se construyen en alta montaña, para “liberarnos” de parte de la atmósfera terrestre.

Otros telescopios se lanzan directamente al espacio, para eliminar completamente la absorción y turbulencia atmosféricas.

En resumen, los telescopios, ya sean terrestres o espaciales, son capaces en su conjunto de ver muchos más “colores” y con muchísima más sensibilidad de lo que nos permiten nuestros ojos, desvelándonos así los innumerables secretos del Universo que de otra manera permanecerían ocultos.

Referencias

BRUNO, Giordano (1584), *De l'infinito universe et mondi. Epistola Proemiale*, Venecia

CLEAVES, H.J., CHALMERS, J.H., LAZCANO, A., MILLER, S.L., BADA, J.L. (2008), “A reassessment of prebiotic organic synthesis in neutral planetary atmospheres”, *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 38, pp. 105-115.

HOGBEN, Lancelot (1930), “The nature of living matter”, London: Kegan Paul, Trench, Trubner.

HUET, Sylvestre (2013), “De l'inerte au vivant. Une enquête scientifique et philosophique”, Paris: La ville brûle.

LIN, Henry W., GONZÁLEZ ABAD, Gonzalo, LOEB, Abraham (2014), accepted in *Astrophysical Journal* [arXiv: 1406.3025v2]

MC KAY, David S., GIBSON Jr, Everett K, THOMAS-KEPRTA, Kathie L. et al. (1996), “Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in Martian meteorite ALH84001”, *Science*, 273, pp. 924-930.

MILLER, Stanley L. (1953), “Production of amino acids under possible Earth conditions”, *Science*, 117, pp. 528-529.

MILLER, Stanley L., UREY, Harold C. (1959), “Organic compound synthesis on the primitive Earth”, *Science*, 130, pp. 245-251

MAYOR, Michel, QUELOZ, Didier (1995), “A Jupiter-mass companion to a solar-type star” *Nature*, 378, pp. 355-359.

SCHRÖDINGER, Erwin (1944), “What is life? The physical aspect of the living cell”, Cambridge: Cambridge University Press.