

El origen de la vida

Manuel Béjar Gallego

Cátedra Ciencia, Tecnología y Religión
Universidad Pontificia Comillas (Madrid)
E-mail: mbejar@recuerdo.net

Probablemente la vida sea el fenómeno más complejo de explicar científicamente. A diferencia de las ciencias físicas, que son capaces de dar cuenta de los fenómenos dominados por la actividad física de la materia a pequeña y gran escala, la biología carece todavía hoy de un modelo estándar del origen de la vida. Sabemos por los registros fósiles que la vida emergió en la Tierra casi desde el final de su formación planetaria. Encontramos restos de vida que existieron hace más de 3.500 millones de años. Hay incluso indicios de posibles seres vivos más primitivos, pero no parece plausible que encontremos evidencias de vida más allá de los 4.000 millones. En ese remoto pasado de nuestro planeta las condiciones físicas eran demasiado hostiles para permitir el origen de la vida.

Es un hecho que la vida no puede existir en la adversidad física. Durante la mayor parte del tiempo, nuestro universo ha sido incom-

patible con la vida. Es inconcebible que la vida hubiera podido siquiera surgir bajo intensas radiaciones, careciendo del apoyo de la estabilidad de estructuras materiales básicas o sin el refugio ambiental mínimo que garantizará la sostenibilidad. Sin embargo la vida se ha manifestado como fenómeno en el devenir del cosmos y ha encontrado espacios de habitabilidad que han permitido su origen y evolución hacia mayor complejidad biológica. Es un hecho que la vida surge en nichos naturales provistos de unas condiciones físico-químicas capaces de hacer emerger propiedades biológicas en la materia.

Resulta razonable que el universo evolucionara físicamente durante miles de millones de años hasta que la expansión cósmica y las interacciones de largo alcance modelaran estos nichos biológicos. Hizo falta mucho tiempo para que lentamente la gravedad formara sistemas planetarios bañados por

un campo de luz estelar. En la actualidad sabemos que la astrofísica reconoce la existencia de una zona de habitabilidad alrededor de algunas estrellas donde es posible encontrar planetas con vida. Se trata de una región comprendida entre una distancia mínima por debajo de la cual el campo de radiación estelar sofocaría cualquier intento de vida, y de una distancia máxima a partir de la cual la energía de la estrella se hubiera diluido demasiado como para poder servir de fuente energética a los seres vivos.

Los seres vivos necesitan energía. Parece existir un delicado equilibrio entre la radiación solar incidente en nuestro planeta y la cantidad de energía que la Tierra expulsa al espacio exterior. Simplificando, se devuelve al espacio toda la energía recibida. De no ser así, nuestro planeta se calentaría o enfriaría gravemente. Este equilibrio energético permite una temperatura media planetaria alrededor de los cero grados, suavemente incrementada hasta la quincena por el fenómeno del efecto invernadero. A pesar de su mala prensa, el efecto invernadero fue crucial para la aparición de vida sobre la Tierra. El problema social ineludible es conocer si en la actualidad la intensidad el efecto debilitaría el equilibrio pla-

netario. Pero la cuestión de fondo que nos ocupa en este artículo es: ¿Por qué la vida terrestre depende tanto de una fuente solar si se desprende de tanta energía como recibe?

La respuesta la encontramos en la física cuántica. La energía solar no es un baño continuo de luz. En su constitución hallamos pequeños paquetes discretos de diferentes cantidades de energía denominados cuantos de luz o fotones. La clave para entender cómo la vida se aprovecha de la energía solar es saber que la Tierra devuelve al espacio la misma cantidad de energía recibida del sol, pero con una distribución bien distinta. La energía solar se recibe en un número menor de paquetes. Esto es, hacen falta más *embalajes* para devolver al espacio la misma cantidad de energía. Y todos sabemos que una mayor cantidad de embalajes genera desorden más fácilmente. Ahí está la clave. No importa tanto la cantidad de energía recibida, cuanto el nivel de orden existente en ella. Es decir, la Tierra recibe energía más ordenada que la reflejada de vuelta. ¿Por qué? Porque la vida aprovecha este orden para realizar sus funciones biológicas, básicamente, mantener la propia vida, a cambio de expulsar desorden al entorno.

El desorden está relacionado con una magnitud física denominada entropía. De acuerdo con el segundo principio de la termodinámica, todo sistema físico aislado procede necesariamente hacia un estado de equilibrio con elevada entropía caracterizado por la indiferenciación máxima. Durante el proceso la energía del sistema permanece constante, pero va degradándose con el aumento de entropía hasta alcanzar el equilibrio termodinámico. En el equilibrio ocurren pocas cosas interesantes: ninguna comparable con la complejidad y relevancia de lo viviente. Los seres vivos necesitan permanecer en estados alejados del equilibrio termodinámico. Y para vivir fuera del equilibrio es imprescindible estar permanentemente abiertos a una fuente de energía. El baño energético solar hace posible que la vida en la Tierra se mantenga fuera del equilibrio. El ocaso de todo ser viviente es inevitable. La muerte es el final de un proceso que devuelve la materia al estado de máxima entropía. Así, figuradamente, podemos afirmar con significación científica que la vida es una constante lucha biofísica contra el incremento de entropía.

¿Cómo consiguió la materia inerte canalizar la energía solar para alejarse del equilibrio termodiná-

mico y alcanzar la complejidad biológica suficiente para desarrollar las funciones metabólicas y reguladoras propias de los seres vivos? No lo sabemos. Este es el gran enigma científico del origen de la vida. Ahora bien, la vida surgió de la materia y se aprovechó de los elementos más abundantes presentes con anterioridad en un puro universo físico sin vida. Es decir, la vida se configuró con las estructuras materiales que previamente se habían sintetizado en el cosmos durante miles de millones de años de evolución puramente física.

En este punto de la reflexión debemos volver la vista a las estrellas. Al comienzo del universo solo se sintetizaron los núcleos de los elementos más ligeros: hidrógeno y helio, que son los más abundantes en la materia ordinaria. El hidrógeno es esencial para vida porque forma parte de la molécula de agua. Teniendo en cuenta que el helio es muy poco reactivo, la vida debió de aprovecharse de las propiedades de otros elementos. Aunque en una proporción inferior, ¿qué hay además de hidrógeno y helio? Sin entrar en el detalle, la ciencia ha descubierto que la vida se aprovechó de lo que había en abundancia relativa. Los seres vivos necesitan de oxígeno, nitrógeno, carbono, fósforo, azufre,

magnesio porque en sus orígenes la vida disponía de esos elementos. Pero, ¿de dónde proceden todos estos elementos pesados si no se sintetizaron al comienzo del universo? La respuesta la hallamos en las estrellas. Hace falta la presión energética de una estrella para poder fusionar hidrógeno y helio en elementos más pesados. Ahora bien, ¿cómo se transportaron estos productos de la fusión nuclear estelar hasta los nichos biológicos? Al final de su vida las estrellas con mayor masa producen explosiones que diseminan la materia estelar por el universo. La vida tal y como la conocemos necesita de la actividad física de estos elementos fraguados en las estrellas y violentamente esparcidos por la galaxia. Coincidimos, por tanto, con el célebre cosmólogo americano Carl Sagan al afirmar en su famosa serie divulgativa que *somos polvo de estrellas*¹. Muchos de los átomos que constituyen la materia orgánica de los seres vivos formaron una vez parte de alguna estrella hoy ya extinguida. La vida se sirve del polvo estelar.

Es sorprendente la necesidad de mirar tan lejos y tan hacia el pasado para seguir el rastro de los procesos que hicieron emerger la vida en el universo. El gran enig-

ma científico sigue sin resolverse. La vida surgió en la Tierra cuando nuestro planeta aún era un sistema de materia inerte compuesto principalmente de gases, agua, rocas y minerales. En este ambiente es razonable que algunas estructuras geológicas como ciertos minerales pudieran servir de catalizadores biofísicos hasta el punto de pensar en un origen mineral de la vida, protegida bajo el mar de las radiaciones ultravioletas y al calor de fumarolas hidrotermales. Sin duda el tránsito de lo puramente físico a lo biológico supone todavía un gran abismo científico.

Desde la Antigüedad, el pensamiento acerca del origen de la vida estuvo dominado por la ideas de la generación espontánea. Básicamente se pensaba que la vida surgía espontáneamente en la materia por el contacto con el aire atmosférico. Estas teorías acerca de la generación espontánea de la vida fueron descartadas en el siglo XIX por el célebre experimento de Pasteur. Sin embargo, en su origen la vida debió de emerger espontáneamente de la materia cuando las condiciones planetarias lo permitieron. El experimento de Miller supuso todo un hito de la ciencia del siglo XX que permite suavizar el abrupto salto de lo inerte a la materia viviente.

¹ Cf. C. SAGAN, *Cosmos*, Ballantine Books, New York 1985.

1. El experimento de Pasteur. Cuando Louis Pasteur presentó los resultados experimentales ante la Academia su conclusión fue categórica al refutar definitivamente la idea de la generación espontánea. Depositó caldo hervido dentro de dos matraces en permanente contacto con la atmósfera. Uno de ellos tenía un cuello recto que facilitaba el ingreso de microorganismo a través del aire, mientras que el segundo contaba con un cuello curvado que atrapaba por gravedad a los microorganismos antes de alcanzar el caldo. En el primer caso, el caldo se descomponía y parecía que había generado microorganismos por contacto con el aire. Sin embargo, en el segundo caso no había rastro de microorganismos en el caldo a pesar de que se mantuvo el contacto con el aire. La vida en el caldo no surgía espontáneamente por la acción atmosférica. Más bien el caldo se corrompía por el efecto de microorganismos ya existentes, que accedían al caldo a través del aire. En consecuencia, se pensó que la nueva vida siempre es precedida por una vida anterior. Toda célula procede de una célula que la antecede. Pero, ¿qué pasa con la primera célula? ¿cómo surge el primer ser vivo? Nos enfrentamos de nuevo al gran enigma de la ciencia. En sus orígenes la vida debió surgir espontáneamente de la materia. El problema no se resuelve afirmando que la vida procede del espacio exterior y fue esparcida por la Tierra. De este modo, tan solo se trasladaría el problema acerca de cómo pudo surgir la vida de la materia puramente física a otro lugar del universo. El hecho es que existe vida en nuestro planeta. Si se ha producido el tránsito de lo inerte a la vida, entonces es posible pensar en una síntesis de compuestos orgánicos a partir de materia puramente inorgánica. Esta fue la idea científica que Stanley Miller supo llevar con éxito a la práctica experimental.
2. El experimento de Miller. A comienzos de la década de los años cincuenta del siglo pasado, la sociedad americana daba por finalizada la gran depresión y vivía momentos de gran optimismo. No es de extrañar que se malinterpretaran los resultados del experimento que un joven investigador había ejecutado con éxito en un laboratorio

de la universidad de Chicago. Con poco más de veinte años Stanley Miller supo recrear en su laboratorio las condiciones físico-químicas terrestres de la atmósfera primitiva y simular las tormentas eléctricas del pasado mediante arcos eléctricos. A partir de una mezcla gaseosa de compuestos inorgánicos sin oxígeno libre, Miller fue capaz de sintetizar aminoácidos, unos compuestos orgánicos esenciales para la formación de proteínas y que suelen identificarse con los ladrillos de la vida. El análisis fino de su experimento reveló la síntesis de más de una treintena de tipos de aminoácidos. Conociendo que toda la vida terrestre se basa tan solo en una veintena

de tipos de aminoácidos, los resultados son realmente sorprendentes. Es posible formar espontáneamente aminoácidos a partir de materia inorgánica. Sin embargo, el gran enigma del origen de la vida no ha sido resuelto. En el experimento no había rastro de vida. Ni de azúcares, nucleótidos y proteínas esenciales. Definitivamente, se equivocaron quienes afirmaron que Miller había creado un ser vivo artificialmente.

Aunque la biología sintética del siglo XXI se encamina hacia la construcción en el laboratorio de complejas estructuras biológicas artificiales, aún hoy no se conoce científicamente cómo la materia pudo crear vida. ■