

Entre la evolución química y la evolución bioquímica

Charles Darwin demostró al mundo que la evolución biológica –con sus propias palabras, «la descendencia con modificación»- es un hecho constatable y además fue el primero en suministrar una explicación científica del fenómeno evolutivo: la creatividad de la selección natural. Para que haya evolución biológica ha de haber organismos. Así que desde el momento que hubo células capaces de reproducirse se pudo iniciar la evolución biológica propiamente dicha. Las fases anteriores suelen denominarse evolución química y evolución prebiótica. Se habla de una evolución química del universo y de las galaxias durante la síntesis de los elementos químicos en esos gigantescos hornos que son las estrellas. También se habla de evolución química durante la formación de moléculas orgánicas en el espacio interestelar y en la Tierra. Como veremos más adelante, A. I. Oparin y J. B. S. Haldane sugirieron esta posibilidad y H. C. Urey y S. L. Miller la simularon experimentalmente. Pero entre la mezcla más compleja de moléculas orgánicas que podemos imaginar y la célula viva más sencilla existe un abismo que parece insalvable a los ojos de la ciencia actual. Algunos modelos propugnan que en esta fase de evolución, denominada prebiótica, se originó la información genética y los procesos químicos de su transferencia, incluyendo el código genético. Existen numerosas aproximaciones teóricas y experimentales a estos problemas. El lector interesado puede acudir a un libro de esta misma serie (F. Montero, J. C. Sanz y M. A. Andrade, 1993: *Evolución prebiótica: el camino hacia la vida*. Madrid, Eudema) que las resume de forma magistral. De otros aspectos relacionados con estas cuestiones nos ocuparemos en el capítulo 5.

Demasiado a menudo se olvida, sin embargo, que durante la evolución prebiótica necesariamente se originó también el metabolismo, es decir, los

mecanismos químicos mediante los cuales el ser vivo se forma y se mantiene a partir de materia y energía tomadas del entorno. El origen del metabolismo está ligado al origen de la célula.

Una pregunta con más o menos respuestas

Para un biólogo, más que para ninguna otra persona, la pregunta es: ¿qué es la vida? A esto el físico R. Feynman respondía: «No sé lo que es la vida pero sé perfectamente cuándo mi perro está muerto». Esta especie de atajo intelectual ha permitido que la biología avance muchísimo en el siglo xx sin necesidad de que los biólogos tengamos una respuesta clara –y única- a dicha pregunta. Y a pesar de toda la literatura que ha provocado dicho enigma, la respuesta completa no la tendremos hasta que no comprendamos cómo se originó la vida. Al referirse al problema de la naturaleza de la vida, Oparin nos recuerda la máxima de Heráclito de Éfeso:

Sólo podemos entender la esencia de las cosas cuando conocemos su origen y desarrollo.

Si se compara un ser vivo con una porción de materia inerte –y no en contraposición a un ser muerto como hace Feynman- podemos atribuirle unas características propias, a saber, la autopoyesis y la reproducción. La organización autopoyética es una condición *sine qua non* de la vida tal y como la conocemos. La reproducción es requisito para poder evolucionar.

El concepto de autopoyesis fue introducido por F. Varela, de la Escuela Politécnica de París. Una entidad es autopoyética cuando, mediante procesos químicos, mantiene y perpetua su composición a pesar de las perturbaciones ambientales. El mecanismo de la autopoyesis es el metabolismo, todas las reacciones de compuestos orgánicos catalizadas por enzimas, en fase acuosa o en interfases, que suceden en el interior de los seres vivos. Las fuentes primarias de energía necesarias para poner en marcha dicho metabolismo son la luz visible y la energía química. No conocemos ninguna entidad viva que no sea autopoyética. Tampoco conocemos ninguna entidad autopoyética que no esté hecha de agua y una compleja diversidad de compuestos orgánicos, incluyendo ácidos nucleicos y proteínas, formando una célula. La célula es la unidad

autopoyética mínima porque es la mínima unidad biológica transformadora de energía (véase el capítulo 6).

Todas las entidades autopoyéticas muestran una continuidad genética que se asegura mediante la reproducción y que depende de la existencia de al menos una molécula de DNA. De todos modos el proceso biológico primario es al autopoyesis –nadie en su sano juicio diría que un organismo estéril no está vivo-, cualidad ineludible para un ser vivo y requisito para la reproducción. Así ningún sistema físico que sea menos complejo que una célula ni es autopoyético ni se puede reproducir. En resumen, la celularidad es la base del metabolismo. Éste es el mecanismo de la autopoyesis que, a su vez, es un imperativo de la reproducción. En su mínima expresión *estar vivo* requiere *ser una célula*. ¿Qué lugar ocupan entonces los virus y los viroides en este cuadro? Ambos son agentes patógenos que representan estrategias de parasitismo de la maquinaria de traducción (virus) o de transcripción (viroides) de una célula hospedadora. En ausencia de células no son más que preparaciones inertes de ácidos nucleicos –y proteínas, en el caso de los virus- incapaces de metabolizar y, por tanto, de reproducirse y evolucionar.

La evolución biológica deriva del hecho de que la reproducción no es perfecta. Las copias que resultan tras la duplicación de las instrucciones genéticas, del DNA, no son idénticas. Nos parecemos a nuestros padres pero no somos su réplica exacta. Tal diversidad en la población es la materia prima para la evolución en la medida que refleja una variedad de aptitudes reproductivas en unas condiciones ambientales dadas. Así es, en definitiva, cómo actúa la selección natural y se ha podido estudiar con detalle tanto en sus aspectos formales como experimentales. Pero además hay que considerar que la creatividad de la selección natural está moldeada por la contingencia de la historia. Fenómenos casuales, catástrofes naturales, eventualidades para las que la información contenida en el DNA no puede estar preparada, reconducen la evolución biológica de forma inesperada. Este aspecto es un tema central de las obras de Gould:

[...] Si una fracción de las selvas africanas no se hubieran desecado hasta convertirse en sabanas, yo podría ser todavía un mono encaramado a un árbol. Si algunos cometas no hubieran chocado con la Tierra (si es que lo hicieron) hace unos 60 millones de años, los dinosaurios podrían domeñar todavía los continentes, y todos los mamíferos serían animales de tamaño de ratas que se escabullirían por

los rincones oscuros del mundo [...] Si los organismos pluricelulares no hubieran aparecido por evolución después de que las cinco sextas partes de la historia de la vida no hubieran producido nada más complicado que una alfombra algal, el Sol podría explotar unos cuantos miles de millones de años en el futuro sin testigos pluricelulares de la destrucción de la Tierra.

Finalmente, consideramos el carácter global o ecológico que muestra la vida. El flujo de energía es necesario para mantener vivos a los seres. Se trata de un imperativo termodinámico. Si el metabolismo permite la formación de estructuras complejas y ordenadas a partir de sustancias más simples es a costa de un consumo incesante de energía. Sea luz visible, sea la oxidación de un compuesto químico reducido, las células tienen que albergar un tránsito energético y un flujo de materiales sin descanso que las mantenga alejadas del equilibrio. Existe, así, un balance entre procesos constructivos o anabólicos y destructivos o catabólicos. El flujo cíclico de componentes ocurre dentro de los organismos y entre los organismos, lo cual permite la reutilización de los elementos químicos. Sin estos ciclos ecológicos la vida terrestre habría agotado los bioelementos en pocos centenares de millones de años. Por tanto, sería positivo plantear el problema del origen de la vida no como el acontecimiento singular, único y separado de la aparición de una población de células a partir de un medio orgánico o inorgánico sino como el establecimiento de los primeros ciclos ecológicos. Creo que el nivel de los estudios sobre el origen de la vida no está todavía lo suficientemente maduro como para enfocar el problema de forma tan global.

El origen de la vida en el contexto del tiempo geológico

Conviene establecer la escala temporal sobre la que se basarán las discusiones de los próximos capítulos. Hoy en día sabemos que el planeta Tierra se formó hace 4550 millones de años. Es decir $4,55 \times 10^9$ años o 4,55 Ga (giga-años). El Sol se formó hace 4,7 Ga. El origen del universo se puede datar con mucha menos precisión: los cosmólogos, basándose en la teoría del big bang, proponen que fue hace unos 15 Ga (entre 10 y 20 Ga).

En términos geológicos se define como eón Fanerozoico la historia del planeta desde hace 570 millones de años hasta la actualidad. Es el periodo

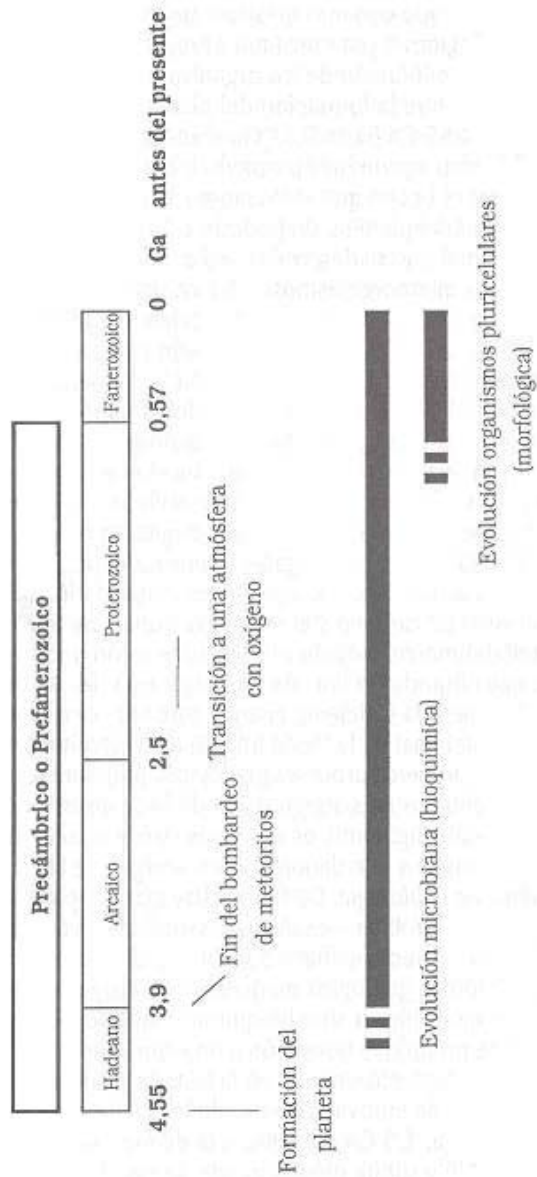


Figura 1. El Precámbrico o Prefanerozoico ocupa casi el 90 por ciento de la historia de la Tierra

de tiempo que ha sido estudiado con más detalle y atención, debido a la riqueza de los restos geológicos y por constituir el registro fósil clásico: contiene los vestigios de la evolución de los organismos pluricelulares.

Todo el intervalo temporal entre la formación del planeta hasta el inicio del Fanerozoico –desde 4,55 Ga hasta 0,57 Ga antes del presente- se ha denominado Precámbrico o, con más propiedad, Prefanerozoico. La figura 1 pretende destacar el hecho que el Prefanerozoico ocupa casi el 90 por ciento de la historia del planeta, un periodo de tiempo paleontológicamente casi mudo en el que se desarrolló una extraordinaria diversidad metabólica entre los microorganismos. A su vez éste se ha dividido en el eón Hadeano (de 4,55 Ga a 3,9 Ga), el Arcaico (de 3,9 a 2,5) y el Proterozoico (de 2,5 Ga a 0,57 Ga). Durante el eón Hadeano se originó la estructura concéntrica de la Tierra, y la Luna probablemente se formó como consecuencia del impacto de un objeto del tamaño de Marte con el precursor de nuestro planeta. Precisamente las investigaciones sobre la superficie lunar y la de planetas como Marte revelan que en aquel tiempo la Tierra era bombardeada con extraordinaria violencia por meteoritos, asteroides y cometas. Lamentablemente no quedan restos geológicos de aquel tiempo. El escape de los gases internos del planeta formó la atmósfera secundaria, con unos componentes mayoritarios como el vapor de agua, el dióxido de carbono y el nitrógeno y una ausencia casi total de oxígeno. Probablemente durante el Hadeano se originó la hidrosfera. La capa de agua líquida no era, sin embargo, estable. Algunos de los impactos sufridos liberó la suficiente energía para evaporar toda el agua del planeta. A partir del final de la lluvia intensa de meteoritos (hace unos 4 Ga) empezaron los primeros procesos geológicos propiamente dichos. Así las rocas sedimentarias más antiguas son de hace unos 3,8 Ga. Como veremos en el capítulo siguiente, es en el eón Arcaico cuando se deben haber dado los fenómenos que denominamos «origen de vida», la *transición de la química a la biología*. De hecho, hay razones para pensar que la vida microbiana anaeróbica –es decir, desarrollada en ausencia de oxígeno molecular- fue floreciente hace 3,5 Ga. Durante el eón Proterozoico se dio ya la tectónica geológica moderna y era muy notable la diversidad biológica, no morfológica sino bioquímica. Alrededor de los 2 Ga antes del presente se produjo la transición a una atmósfera con oxígeno molecular. Este acontecimiento singular en la historia planetaria fue, posiblemente, el catalizador de innovaciones evolutivas como el sexo o la pluricelularidad y nos lleva, 1,5 Ga después, a la denominada explosión cámbrica, una increíble y súbita exhibición de diversidad morfológica,

Iniciada con las faunas de Ediacara y del Burgess Shale. Los nombres de algunos de estos organismos, como Hallucigenia, son una muestra de cómo los taxónomos se han maravillado ante tal diversidad.

Nuestra capacidad de explicación de los fenómenos que rodearon el origen de las células más primitivas y su evolución está enormemente dificultada por la lejanía temporal de los procesos de interés, la escasez de datos acerca del ambiente de la Tierra arcaica y el conocimiento aún muy fragmentario de la biosfera actual. Como ejemplo sirva la consideración de que sólo podemos cultivar en el laboratorio menos de un 1 por ciento de las especies de microorganismos existentes.