



EL PAPEL DE LOS SERES VIVOS EN LA EVOLUCIÓN PLANETARIA

José Carlos Báez Barrionuevo, Francisco Conde Poyales y Antonio Flores Moya*

*email: floresa@uma.es

Los seres vivos han desempeñado un papel fundamental en la evolución de la Tierra participando, a través de los ciclos biogeoquímicos, en la regulación de gases atmosféricos como el CO_2 , O_2 y N_2 . Se ha estimado que reciclan un tercio de los elementos químicos. Por otra parte, en la superficie terrestre han ayudado a erosionar las rocas, originando el suelo, de tal manera que los procesos biológicos son responsables de altas concentraciones de Si, Fe, Mn, S y C en la corteza terrestre (Cloud, 1987). Así, la vida ha alterado la composición de la atmósfera, hidrosfera y litosfera, lo que ha tenido repercusiones en la evolución de nuestro planeta. La Tierra sería muy distinta de la que actualmente conocemos si nunca hubiese existido la vida (Sylvester-Bredley, 1980).

¿Cuándo se desarrolló la vida?. Las dataciones más precisas aseguran que la Tierra se formó hace 4.500 millones de años. Durante sus primeros 500 millones de años estuvo sometida a un intenso bombardeo de meteoritos. Las evidencias más antiguas de organismos vivos en la Tierra datan de hace unos 3.800 millones de años en las rocas sedimentarias de la formación de Isua, Groenlandia. Estas rocas presentan capas de grafito e hierro que van alternando con bandas de sílex y se encuentran débilmente metamorizadas por ser tan antiguas. El grafito es un mineral de carbono puro y cuando se estudió su composición isotrópica se vio que resultaba muy similar a la que se encuentra en los seres vivos. Esto sugiere que la vida surgió en la Tierra inmediatamente después de que cesara el bombardeo de meteoritos.

Algunos autores han propuesto, recientemente, la existencia de vida en Marte desde por lo menos hace 3.500 millones de años (McKay et al., 1996). Esto se dedujo a partir del estudio de un meteorito encontrado en 1984 en la Antártida. Si realmente se tratan de restos de vida marcianos, indicaría que la vida surgió en Marte aproximadamente en la misma fecha que en la Tierra. Es decir, la vida comenzó después del estrés que supuso el bombardeo de meteoritos.

Existen actualmente dos líneas de pensamiento dentro de los defensores de la existencia de procesos biológicos en Marte. La primera línea sugiere que la vida desapareció muy pronto, ya que las condiciones del planeta se volvieron extremas. Por otro lado, se han postulado hipótesis que defienden que las condiciones en Marte se volvieron extremas porque la vida no alcanzó una biomasa suficiente, al no desarrollar organismos similares a las actuales cianobacterias y algas eucariotas (responsables de los principales cambios acontecidos en la Tierra), pero que la vida permanece latente en el planeta rojo. En esta línea de razonamiento se ha sugerido que los primeros seres vivos marcianos formaron comunidades de microorganismos similares a las comunidades criptoendolíticas de la Antártida y, debido a las condiciones tan extremas imperantes en el planeta, jamás alcanzaron una biomasa considerable (Rothschild et al., 1994).

¿Cómo surgió la vida? Los experimentos de S. L. Miller en 1953 demostraron lo fácil que resulta la formación de los monómeros fundamentales que constituyen los pilares de las macromoléculas biológicas. Estos experimentos se realizaron en una atmósfera reductora de NH_3 y CH_4 . Pero en los meteoritos como el de Murchison, caído en esta localidad de Australia en 1969, se encontraron 70 aminoácidos distintos que no pudieron sintetizarse de la misma forma que simuló Miller en sus experimentos. Además, actualmente no se cree que la atmósfera estuviera formada como sugiere este autor, sino de CO_2 , N_2 y H_2O (vapor), junto con SO_2 y pequeñas cantidades de gases nobles (Cacho y Sáinz, 1989; Anguita, 1993). Por otra parte, la luz solar ultravioleta impediría la formación de polímeros biológicos ya que destruiría sus enlaces nada más formarse. Por ello se piensa que la vida tuvo que surgir a cierta profundidad en sistemas acuáticos, donde no puede penetrar la luz ultravioleta, al ser el agua fotoactiva. Por lo tanto, se ha sugerido que la formación de estos monómeros también podría tener lugar en las grietas de géiseres y volcanes. Esto ha llevado a proponer que el medio volcánico puede ser uno de

los más adecuados para la síntesis abiótica de estructuras precelulares (Slvester–Bredley, 1980).

¿Cuáles son los hitos biológicos más importantes para que se produjeran los profundos cambios de la superficie terrestre? Tras el origen de la vida, los hitos biológicos más importantes han sido: la aparición de los procariotas fotosintéticos que utilizan el H_2O como donador de electrones y liberan O_2 , la aparición de las primeras células eucariotas y la transmigración al medio aéreo desde los sistemas acuáticos.

Los procariotas fotosintéticos, como los formadores de estromatolitos fósiles y actuales, dieron lugar a la acumulación de grandes cantidades de O_2 en el medio, lo que significó un incremento de su concentración en la atmósfera. La prueba paleontológica que lo sugiere data de hace unos 2.000 millones de años, en la formación Gunflint Iron. En estas rocas han aparecido improntas de filamentos (clasificados como la cianobacteria *Gunflintia minuta*), similares a los actuales de *Nostoc*. Presentan células engrosadas similares a heterocistos. Estas células permiten aislar del O_2 la enzima nitrogenasa, ya que están presentes en los heterocistos pero ausentes en las otras células. La nitrogenasa está encargada de fijar N_2 , pero se inhibe en presencia de O_2 . Si esto también es cierto para *Gunflintia minuta*, quedaría decir que hace 2.000 millones de años se habría acumulado tal cantidad de O_2 como para seleccionar organismos formadores de heterocistos (Cloud, 1987).

La primera célula eucariota data de hace unos 1.400 millones de años. Su aparición se explica mediante la teoría simbiótica, expuesta por primera vez en el siglo pasado por A. F. W. Schimper. Esta teoría sugiere que una célula protoeucariota, por endocitosis, ingirió una bacteria, pero que no la llegó a digerir. Se establecería entonces una asociación beneficiosa para ambas células, ya que la célula protoeucariota presenta un medio estable para la bacteria, y esta realiza la respiración para ambas. La importancia de la aparición de este grupo para la evolución de la biosfera radica en la capacidad de las células eucariotas para unirse formando organismos pluricelulares, aumentando su complejidad. Los organismos pluricelulares pueden explotar recursos que ninguna célula aislada podría utilizar.

La transmigración desde sistemas acuáticos al medio aéreo representa uno de los hitos biológicos más importantes para los cambios acontecidos en la superficie terrestre. Tuvo lugar hace 420 millones de años (Berkner y Marshall, 1980). Se piensa que algas bentónicas similares a las actuales Chaetophorales fueron las que dieron este paso (Salvo et al., 1989). Las primeras plantas terrestres tuvieron que sufrir profundos cambios morfológicos y fisiológicos para adaptarse a la desecación y a la radiación (Zimmerman, 1976). La

transmigración no se pudo llevar a cabo hasta que no se formó una cantidad mínima de O_3 , que al absorber la luz solar ultravioleta (que altera el ADN y daña el aparato fotosintético) protegiese a los organismos. El O_3 se forma en la estratosfera a partir de la fotodisociación del O_2 en oxígeno atómico (O) por acción de la luz ultravioleta y posterior recombinación del (O) con O_2 dando lugar a O_3 . Todas estas reacciones conllevan la absorción de la luz ultravioleta en la estratosfera (Cacho y Sáinz, 1989). Esto es posible gracias al O_2 producido por la biomasa vegetal de todo el planeta.

Las algas desempeñan un papel fundamental en los sistemas ecológicos actuales, al igual que en el pasado, debido a que son los principales productores primarios en sistemas acuáticos. Así, se ha postulado que las algas son tan importantes que deben de desarrollarse organismos similares a ellas para que la vida prospere en un planeta, debido a que constituyen una biomasa consistente de organismos autótrofos.

Recientemente, en términos geológicos, ha aparecido otro organismo que está causando profundos cambios en el planeta: el hombre. Estos cambios los lleva a cabo por medio de lo que se denomina civilización. En relación a la evolución planetaria, su papel es clave en lo que se denomina cambio climático global. Parece ser que el consumo de combustibles fósiles, a partir de la Revolución Industrial, está enviando a la atmósfera carbono, en forma de CO_2 , que antes estaba secuestrado en los sedimentos (como parte de biomasa posteriormente enterrada). El CO_2 absorbe radiación infrarroja, por lo que si se acumula en grandes cantidades en la atmósfera podría dar lugar a una situación de elevación de la temperatura media en todo el planeta. No obstante, la posible responsabilidad del hombre en este proceso es aún materia de debate en la comunidad científica. De lo que no hay duda es de que la producción de compuestos cloro-fluorocarbonados (como propelente y refrigerante), y su liberación a la atmósfera, así como la combustión en los motores de reacción de los aviones, han originado la destrucción del O_3 estratosférico (agujero de ozono), especialmente en épocas estivales sobre las zonas polares. La destrucción de O_3 da lugar a que elevados niveles de radiación ultravioleta lleguen hasta la superficie terrestre (Cacho y Sáinz, 1989). Sus posibles efectos sobre la vida es tema de investigación de numerosos científicos en la actualidad.

Actualmente se piensa que la vida pudo surgir, además de en la Tierra, en Marte, como ya se ha comentado (Rothschild et al., 1994; McKay et al., 1996), Júpiter (Slvester–Bredley, 1980; Anguita, 1993) y Titán (Margulis y Sagas, 1995). Sin embargo, actualmente ninguna de las sondas ni expediciones al espacio han arrojado el menor indicio de vida.

Estas hipótesis se basan en que la Tierra no presenta unas propiedades intrínsecas especiales. Aunque hasta hace poco se creía que su distancia al Sol y su tamaño eran especiales para albergar vida, actualmente se sabe que estas cualidades no son verdaderamente discriminativas. La distancia de la Tierra al Sol hace que la temperatura se encuentre entre los puntos de congelación y fusión del agua, por lo que el agua permanece líquida. Esto es importante, ya que el agua es el medio donde tiene lugar el transporte de nutrientes, reacciones metabólicas y transferencia de la energía química. Además, participa como disolvente de muchas sustancias inorgánicas y orgánicas, y actúa como sustrato para determinadas reacciones químicas. Además, por la ruptura de la molécula de agua se obtienen los electrones necesarios para la fotosíntesis. Por todo ello, el agua posee una importancia fundamental para el origen y posterior evolución de la vida. Si la Tierra estuviese más cerca del Sol, como Mercurio y Venus, el agua estaría en estado de vapor por las altas temperaturas superficiales. Si estuviese más lejos, como Marte, se encontraría en estado de congelación. No obstante, la distancia de un planeta al Sol no es el factor definitivo que regula el estado de agregación del agua. Otros factores importantes son el efecto invernadero y la velocidad de rotación del planeta. Por otra parte se ha descubierto agua líquida en otros cuerpos del sistema solar; por ejemplo, parece ser que hay hielo en la Luna.

El tamaño de la Tierra se consideraba otra característica adecuada para albergar la vida, ya que si fuese más grande la densidad de su atmósfera sería tan alta que impediría la llegada de la luz solar a la superficie, y ésta es la energía básica en la que se basan los ecosistemas vivos que conocemos (a excepción de las comunidades bentónicas asociadas a surgencias en las dorsales oceánicas). Si fuese más pequeña no ejercería una atracción gravitatoria suficiente para retener su atmósfera. Se piensa actualmente que la presencia de una atmósfera no es fundamental para la formación de las moléculas básicas de la vida. Esta idea se basa en la presencia de aminoácidos en muchos meteoritos (Anguita, 1993). Además, el que la luz solar no llegue a la superficie del planeta no impide que la vida se desarrolle en la atmósfera. Por ejemplo, algunos autores han especulado sobre la posibilidad de vida en la atmósfera de Júpiter (Sylvester-Bredley, 1980; Anguita, 1993).

Estos argumentos indican que la Tierra no presenta unas características especiales para albergar la vida. Además, el Universo es uniforme, por lo que no existe ningún sitio privilegiado, y las leyes físicas se comportan de igual modo en todos los lugares. Esta idea fue confirmada en 1965 por la detección de la Radiación de Fondo, un fósil energético que se

produjo cuando se separaron materia y energía. La Radiación de Fondo confirma la uniformidad del Universo ya que, al ser isótropa, viene de todas las direcciones con igual intensidad (GAH, 1982). Si realmente las leyes físicas se comportan de igual modo en cualquier punto del universo, cabe sospechar que la vida seguramente sólo es posible tal y como la conocemos.

BIBLIOGRAFÍA

- ANGUITA, F. 1993. La ecuación de Drake, treinta años después. *Mundo científico*, 133: 208–215.
- BERKNER, L. V. y MARSHALL, L. C. 1980. Oxígeno y evolución. En: *Introducción a las ciencias de la Tierra* (GASS, I. G., SMITH, P. J. y WILSON, R. C. L., eds), Reverté, Barcelona: 119–139.
- CACHO, J. y SÁINZ, M. J. 1989. *Antártida. El agujero de Ozono*. Trabapress: 250 pp.
- CLOUD, P. 1987. La biosfera. En: *La Tierra, estructura y ciencia*. Libros de Investigación y Ciencia, Prensa Científica, Barcelona: 142–153.
- GAH, G. 1982. El principio antrópico. *Investigación y Ciencia*, 65: 94–103.
- MARGULIS, L. and SAGAS, D. 1995. *What is life?*. Neva-raument Publishing Co., New York, 207 pp.
- McKAY, D. S., GIBSON, E. K., THOMAS, K. L., VALI, H., ROMANEK, C. S., CLEMETT, S. J., CHILLER, X. D. F., MAECHLING, C. R. and ZARE, R. N. 1996. Search for past life on Mars: Possible relic biogenic activity in martian meteorite ALH84001?. *Science*, 273:924–930.
- ROTHSCHILD, L. J., CIVER, L. J., WHITE, M. R. and MANCINELLI, R. L. 1994. Metabolic activity of micro-organisms in evaporites. *Journal of Phycology*, 30: 431–438.
- SALVO-TIERRA, A. E., FLORES-MOYA, A. y ESCÁ-MEZ-PASTRANA, A. M. 1989. *El origen de los cormófitos. Transmigración y colonización terrestre*. Servicio de publicaciones de la UNED de Melilla, 12: 46 pp.
- SYLVESTER-BREDLEY, P. C. 1980. Un modelo evolutivo del origen de la vida. En: *Introducción a las ciencias de la Tierra*. (GASS, I. G., SMITH, P. J. y WILSON, R. C. L., eds), Reverté, Barcelona: 119–139.
- ZIMMERMANN, W. 1976. *Evolución vegetal*. Omega, Barcelona, 176 pp.

José Carlos Báez Barrionuevo es estudiante de Biología y colaborador en el Departamento de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga.

Francisco Conde Poyales es profesor Titular de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga.

Antonio Flores Moya es profesor Titular Interino de Biología Vegetal de la Universidad de Málaga.