



ORÍGENES. NOTAS ACERCA DEL ORIGEN Y LA EVOLUCIÓN DE LA VIDA

por IRENE RAMOS CÁRDENAS

ALUMNA DE BACHILLERATO DEL IES UNIVERSIDAD LABORAL, MÁLAGA

IRENE.RAMOS.CARDENAS@GMAIL.COM

El *arjé*, en filosofía, principio de todo, ha sido una cuestión a la que el ser humano siempre ha buscado una respuesta. La vida es un fenómeno tan complejo que la probabilidad de que se produjese por azar es ínfima; sin embargo, su emergencia es casi inevitable. Por otro lado, la evolución que se produjo desde la primera célula, LUCA, hasta la gran biodiversidad de seres vivos que habitan actualmente nuestro planeta, o que lo han habitado en algún momento, se debe a las alteraciones del material genético de las células de los individuos, ya sean unicelulares, multicelulares o pluricelulares. En este trabajo se exponen las ideas actuales predominantes sobre el conjunto de procesos que condujeron a la aparición de la vida.

The beginning of everything has always been a question which human has tried to find out an answer. Life is such a complex phenomenon that the probability of it happening by chance is extremely small; however, its emergence is almost inevitable. On the other hand, the evolution from the first cell, LUCA, to the great biodiversity of living beings that currently inhabit our planet, or that have ever inhabited it, is due to the alterations of the genetic material of the cells of individuals, whether unicellular or multicellular. In this work, the prevailing current ideas about the process that led to the appearance of life are exposed.

Enviado: 03/09/2019

Aceptado: 01/06/2020

El origen de la vida

Se considera ser vivo, desde el punto de vista químico, a un sistema colectivamente autocatalítico, es decir, a un conjunto de componentes químicos capaces de catalizar su propia reproducción.

La vida surge como una propiedad emergente, ya que los seres vivos están compuestos por elementos no vivos y puede parecer que ocurrió como una adecuada combinación de sucesos aleatorios, pero cada uno de ellos es muy poco probable y pasa a ser más complejo al intervenir la selección natural como motor del cambio. De este modo, si la vida hubiera surgido como resultado del azar, el tiempo necesario para que surgiera hubiera sido mayor que el de la edad del Universo y, como la vida de hecho ha surgido en nuestro universo, se concluye que no ocurrió como producto del puro azar.

El saltacionismo propone que la vida existe entre unos límites determinados de complejidad y que el fenómeno vital no puede darse por debajo de una complejidad mínima. El modelo de Kauffman expone que la vida no surgió simple y de forma gradual, sino compleja y completa, a partir de un proceso natural de cambio en sistemas químicos complejos. Toda vida se encuentra en plenitud e incluso la más simple muestra una gran complejidad. De este modo, la aparición de la vida es mucho más probable de lo que puede parecer, porque los conjuntos de procesos autocatalíticos ocurren inevitablemente.

El origen de la célula

Se cree firmemente que fue un fenómeno físico-químico el que propició la aparición de la primera

célula en la Tierra, hace entre 3.800 y 3.500 millones de años, según los indicios fósiles.

Es aceptado que la formación de las primeras células en la Tierra sucedió a partir de moléculas orgánicas sencillas, precursoras de las complejas que hoy las constituyen y que se encontraban en el agua. Sin embargo, no se descarta que parte de las moléculas orgánicas que se necesitaron se sintetizaran en otros lugares del Universo y que sus componentes fue-

ran transportados hasta la Tierra en la lluvia inicial de meteoritos que ocurrió en sus orígenes.

No se tiene certeza del orden ni del modo en el que ocurrieron los hechos, pero la formación de moléculas orgánicas, la formación de polímeros, la formación de la membrana celular, la autorreplicación, las interacciones moleculares, el ADN y el código genético debieron de producirse previamente para que tuviera lugar la aparición de las primeras células.

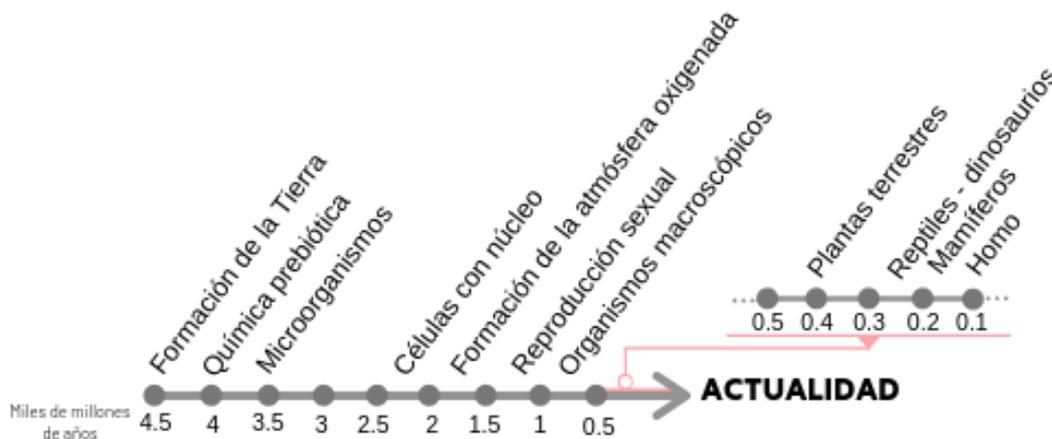


Figura 1. Secuencia temporal aproximada de la aparición de la vida en la Tierra y algunos de los organismos que emergieron después.

Las células están formadas por agua, iones y moléculas orgánicas. Éstas últimas, posiblemente, se formaron en condiciones físicas extremas (por ejemplo, en las profundidades del mar, alrededor de las fumarolas, etc.) o, incluso, podrían ser de origen extraterrestre.

La formación de polímeros fue muy significativa, pues las moléculas orgánicas más importantes para la célula suelen aparecer como polímeros complejos. El hecho de que no se haya encontrado un sistema de polimerización prebiótico que satisfaga las teorías del origen de la vida supone un inconveniente para afirmarlas, aunque hay varias posibilidades que ayudan a ello: el calor sobre compuestos secos, la catálisis por superficies minerales, las condiciones extremas de las fumarolas, las fuentes hidrotermales de agua dulce o las membranas lipídicas. La aparición de la membrana celular supuso muchas ventajas, pues permitió ganar independencia y efectividad metabólica y favoreció una replicación más eficiente. Los lípidos pudieron ser, probablemente, las primeras moléculas en sintetizarse porque son más estables y fáciles de sintetizar que otras moléculas. Como las membranas son mucho más estables en agua dulce, se puede pensar que es en este medio donde aparecieron las primeras células. Con la autorreplicación, los polímeros adquirieron la capacidad de aumentar su número y conseguir copias de sí mismos, así como la trans-

misión de la información en forma de secuencia de monómeros u organización espacial del polímero. El material y la energía necesarios para autorreplicarse estarían libres en el medio y podrían atravesar las membranas. De este modo, se crearían réplicas moleculares similares al original. Las más eficientes tendrían mayor capacidad de autorreplicación, y, por tanto, y tal y como refleja la evolución darwiniana, su proporción con respecto a las réplicas menos eficientes sería mayor. La teoría predominante sobre el origen de la vida considera que las primeras formas de protovida estuvieron formadas por ARN autorreplicante. Hay secuencias de ARN que catalizan reacciones enzimáticas necesarias para su replicación, ya que se requiere la existencia de una actividad ARN polimerasa. Además, dado un aporte de nucleótidos libres, una ribozima capaz de funcionar como polimerasa constituye per se un gen replicante desnudo. Sin embargo, tal molécula no podría ni mantenerse frente a la degradación mutacional ni evolucionar. Para la formación de complejos y reacciones heterogéneas tuvo que darse la interacción entre moléculas diferentes, como las asociaciones de moléculas de ARN que en unión de polipéptidos facilitaron la replicación, o las rutas metabólicas que interaccionaron con el ARN y el ADN. Estas interacciones permitirían la coevolución de grupos heterogéneos de moléculas. El código genético es prácticamente universal y arbitra-

rio para todos los seres vivos, lo que implica que tuvo que haber una única organización de moléculas de ARN y péptidos que permitió la aparición de todos los organismos. A la protocélula de la que partieron todas las demás células se le denomina LUCA (de sus siglas en inglés: *last universal common ancestor*).

La información genética transmitida por los organismos a su descendencia está codificada en forma de ADN, pues gracias a su estructura de doble hélice es más estable, es más fácil de replicar y permite reparaciones más eficientes que el ARN. Durante la evolución, antes de LUCA, debió de darse el paso de la información contenida en el ARN al ADN gracias a las retrotranscriptasas, quedando así el ADN como base para la conservación, lectura y transmisión de la información de las protocélulas.

El origen de la célula eucariota

El origen de la célula eucariota debió de tener lugar unos 1.500 millones de años después del de las primeras células procariotas, hace entre 2.000 y 1.500 millones de años. Este hecho supuso un gran desarrollo evolutivo, pues se alcanzó una nueva complejidad morfológica y estructural al incorporar genomas completos, al reproducirse sexualmente y al constituirse en organismos multicelulares y pluricelulares.

Las células eucariotas son monofiléticas, ya que todas descienden de un único ancestro denominado LECA (de sus siglas en inglés: *last eukaryotic common ancestor*), que era genómica, morfológica y estructuralmente parecido a las actuales células eucariotas. Aunque no se sabe con seguridad cómo surgieron estas células, se propone que entre los dos tipos celulares procariotas que existían, arqueas y bacterias, se produjo una colaboración que dio lugar a las células eucariotas.

Las células eucariotas poseen genes informativos y genes operacionales, que han sido heredados de las células procariotas. Los genes informativos trabajan en la traducción, transcripción y replicación de los genes, y son semejantes a los de las arqueas. Los genes operacionales están implicados en el metabolismo energético y colaboran en la síntesis de componentes celulares como aminoácidos, lípidos y nucleótidos, y son semejantes a los genes bacterianos.

Hay investigadores que creen que la asociación de la bacteria que resultaría ser antecesora de las mitocondrias propició la evolución hasta LECA (modelo simbiote o 2D). Otros sugieren que la célula en la que se incorporó era ya muy compleja genómica y estructuralmente, y la endosimbiosis supuso un pequeño avance en el desarrollo hasta LECA (modelo autógeno o 3D).

El modelo simbiote o 2D establece que la fusión simbiótica entre una arquea y una bacteria, provocaría la formación de una célula eucariota como una tercera rama en la que se aumentaría la complejidad celular. En este proceso simbiótico la bacteria devendría en una mitocondria y las dos células se distribuirían las funciones celulares: las relacionadas con el ADN serían llevadas a cabo por las arqueas y las relacionadas con el metabolismo, por las bacterias.

Una variante de este modelo defiende que la incorporación se produjo a lo largo de mucho tiempo, tras una transferencia lateral de genes de la bacteria a la arquea provocada por las condiciones ambientales que propiciaron su proximidad física. Según la teoría del hidrógeno, la bacteria produciría este gas que favorecería al metabolismo de la arquea y ésta produciría sustancias carbonadas para la bacteria. Finalmente, la arquea (ya con muchos genes bacterianos) fagocitaría a la bacteria, aunque no la digeriría.

El modelo autógeno o 3D propone la existencia de una célula protoeucariota con un antepasado común a las arqueas, que evolucionó hasta conseguir muchas de las características propias de las células eucariotas actuales (endomembranas, citoesqueleto, etc.) a excepción de las mitocondrias. Además, fagocitó una alfa protobacteria que pasó a vivir en el interior de la protoeucariota al no ser digerida. Posteriormente, los genes de la bacteria endosimbiote comenzaron a controlar el metabolismo general, aunque no el ADN. No obstante, no se han hallado formas intermedias entre eucariotas y procariotas, ni células eucariotas sin mitocondrias, aunque sí con otros orgánulos derivados de éstas. Tampoco parece que esta célula pudiera ser capaz de generar la energía que requieren tantas proteínas para formar tal sistema funcional de membranas.

El sistema de endomembranas diferencia a las células eucariotas de las procariotas y se cree que surgió de la invaginación de la membrana plasmática de la arquea. Sin embargo, las procariotas no son capaces de hacer endocitosis y, aunque no generan vesículas internas, sí invaginan su membrana para crear cisternas membranosas internas no independientes a la membrana plasmática.

Por otro lado, tanto arqueas como bacterias, al igual que las mitocondrias, pueden generar vesículas externas, que en el caso de las procariotas son extracelulares y en el de las mitocondrias permanecen en el citosol. Gould et al. (2016) exponen que el sistema de endomembranas en las células eucariotas sería la consecuencia de la fusión de vesículas liberadas por la bacteria endosimbiote. Así se desarrollarían los orgánulos membranosos y se produciría el cambio de

composición de la membrana arqueana por fusión con las vesículas. De esta forma, el interior de estos orgánulos sería homólogo a la región intermembranosa de la mitocondria.

El origen de la multicelularidad

Los seres vivos unicelulares previos a la aparición de la multicelularidad estaban ya genéticamente

preparados porque disponían de parte de los genes relacionados con ella, que fueron empleados para las nuevas funciones multicelulares.

La multicelularidad clonal, por la cual se generan la mayoría de organismos multicelulares, se produce cuando las células hijas no se separan, dando lugar a una división celular incompleta, y la multicelularidad agregativa ocurre por la unión de diferentes células distintas genéticamente.

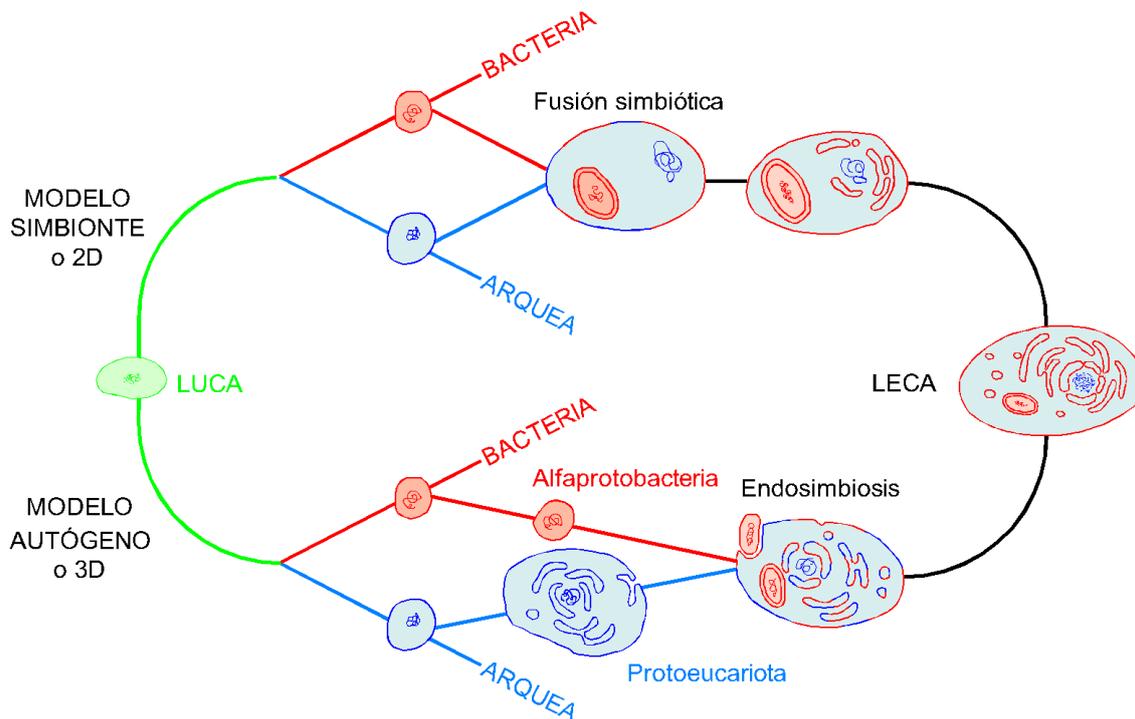


Figura 2. Modelos que explican la eucariogénesis a partir de LUCA, estando representadas las membranas controladas por bacterias en rojo y las controladas por arqueas, en azul.

Las ventajas adaptativas que produjo la multicelularidad fueron el aumento del tamaño corporal y la capacidad de dispersión, que evitaban la depredación por organismos unicelulares y facilitaban la colonización de espacios hasta entonces no explotados y el desarrollo de nuevos nichos ecológicos. Además, la división del trabajo permitió desarrollar de forma simultánea varios procesos celulares.

Por otro lado, la multicelularidad requería desarrollar mecanismos de control de la estabilidad e integridad del grupo: genes que intervinieran en la adhesión, comunicación y diferenciación celular, para controlar la proliferación celular y reconocer la identidad de las células vecinas.

El origen de la multicelularidad se ha producido varias veces de manera independiente desde la

aparición de los primeros seres vivos. En las células procariotas ha ocurrido en cianobacterias, mixobacterias y actinomicetos. Sin embargo, la transición a la multicelularidad en los eucariotas se ha dado un mayor número de veces y con mayor complejidad, especialmente en plantas y animales.

Acerca de la evolución biológica

La evolución biológica es el cambio en las características de las poblaciones de organismos a lo largo del tiempo y de las generaciones, mediante su diversificación y modificación. Esto es debido a la actuación de la selección natural, que favorece a los individuos con características heredables que mejoran su éxito

reproductor.

Los cambios heredables en el desarrollo pueden ser macromutaciones y micromutaciones. Las macromutaciones son innovaciones evolutivas generadas por modificaciones en los genes reguladores del desarrollo y las micromutaciones están implicadas en el ajuste fino de los organismos a su ecosistema.

Un número muy reducido de sistemas de genes son

capaces de generar la inmensa diversidad morfológica de los animales, es decir, que pequeñas variaciones en estos sistemas son las que originan tales novedades morfológicas. Este fenómeno se denomina reclutamiento genético, por el cual determinados sistemas de señalización celular organizan diferentes procesos de desarrollo, como ocurre en el caso de los órganos homólogos.

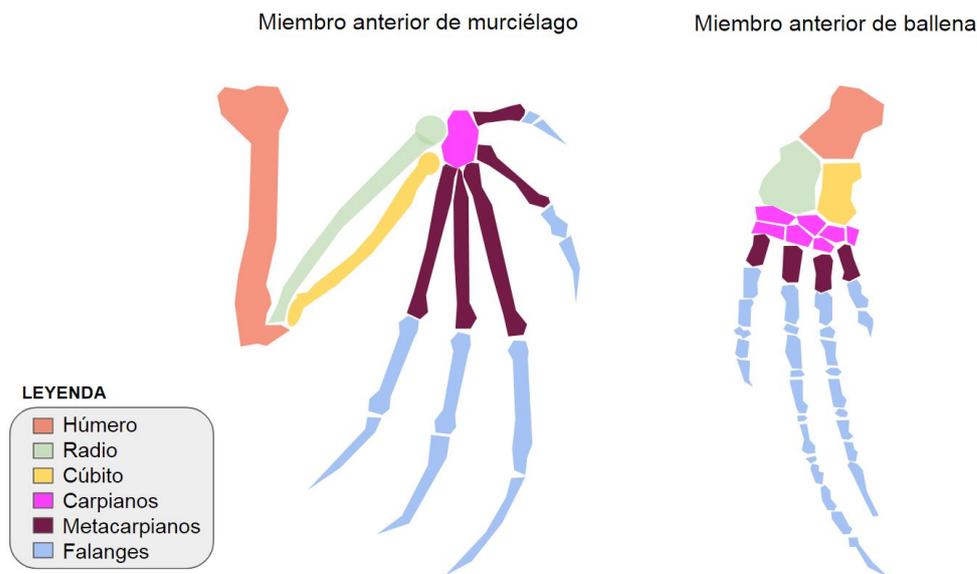


Figura 3. Las alas de los murciélagos y las aletas de las ballenas son órganos homólogos. El potenciador del crecimiento de algunos huesos como los metacarpianos es de mayor nivel en los murciélagos.

El embriólogo Løvtrup expone en su obra «Darwinism: Refutation of a myth» (1987) que la teoría evolutiva lleva implícitas las siguientes subteorías:

- La teoría sobre la realidad de la evolución, que defiende que la evolución es un fenómeno real.
- La teoría sobre la historia de la evolución, el conjunto de hipótesis y deducciones acerca de la relación filogénica de los seres vivos.
- La teoría sobre el mecanismo de la evolución, formada por la teoría sobre el origen de la novedad y la teoría sobre la supervivencia de la novedad.

El mecanismo evolutivo se basa en la correlación entre la variabilidad heredable de características y la variabilidad de éxito reproductor entre individuos de una misma población. Si la correlación es nula o muy baja, los cambios que se producirán de una generación a otra oscilarán por azar y se daría una «evolución neutral», sin embargo, si la correlación es elevada, el cambio evolutivo irá a favor del incremento del éxito reproductor, y, por tanto, de la eficacia de la adaptación y se daría una «evolución adaptativa».

El darwinismo hace énfasis en la supervivencia de la novedad, pero no concreta su origen. Con la selección natural y la supervivencia del más apto, se seleccionan las variedades más ventajosas, y esto generalmente implica un cambio morfológico a lo largo de las generaciones. Con esta hipótesis, Darwin habla de las dos clases de evolución: la macroevolución, que está relacionada con modelos observados en la comparación de taxones y que contribuyen a la explicación de los procesos evolutivos; y la microevolución, que se encarga de estudiar en detalle los procesos que ocurren en una determinada especie o población actual.

La conexión entre microevolución y macroevolución no está clara. Aunque Darwin defendía que los procesos de selección natural estudiados en poblaciones actuales explican los patrones observados en la diversificación de taxones a lo largo de la historia de la vida en la Tierra, la mayor parte de los biólogos macroevolutivos defienden que los patrones evolutivos a gran escala, detectados a través del registro fósil, no pueden ser explicados solo por los procesos microevolutivos. Por ejemplo, se ha comprobado que se produjo una rápida divergencia evolutiva al principio del origen de los taxones y después hubo largos

periodos durante los que el desarrollo anatómico y el tipo de vida fueron constantes. Además, no se han hallado las numerosas formas intermedias de seres vivos que deberían haber existido según predice la teoría de la selección natural.

Conclusión

El origen de la vida en la Tierra todavía es una cuestión sin una respuesta absoluta. Mediante el desarrollo de explicaciones mecanicistas para los procesos biológicos se ha ido cambiando profundamente la visión del mundo en el que vivimos y parece ser que el fenómeno de la vida, tan complejo como es, surgió como una propiedad emergente y evolucionó gracias a las mutaciones genéticas hasta llegar a la inmensa biodiversidad actual.

Para saber más:

AGUILERA, J. A., El origen de la vida. La apa-

riación de los primeros microorganismos. *RBA*. 2019.

DE MENDOZA, A., SEBÉ, A., RUIZ, I., El origen de la multicelularidad. *Investigación y ciencia*, nº 437. 2013.

FREEMAN, W.H. and Company, Biochemistry. Chapter 1: Biochemistry: an evolving science. 2012.

MEDINA, M. A., Un punto de vista alternativo sobre el origen de la vida y la evolución. *Encuentros en la Biología*, nº 33. 1996.

MUÑOZ-CHÁPULI, R., Evo-Devo: hacia un nuevo paradigma en Biología Evolutiva. *Encuentros en la Biología*, nº 100. 2005.

MUÑOZ-CHÁPULI, R., Evo-Devo: el origen de la novedad en evolución. 2015. SOLER, M., *Evolución: la base de la biología*. Páginas 21-44. 2002.
