

De la materia inorgánica a la vida, de la vida a la vida humana

Nicolas Jouve

Catedrático de Genética, Universidad de Alcalá

Email: nicolas.jouve@uah.es

Se ha estimado que aproximadamente hace 15 mil millones de años tuvo lugar el origen del cosmos, que debió suceder como consecuencia de una gigantesca explosión conocida como big-bang. La gravedad levanta una barrera infranqueable ante cualquier investigación. Más allá del llamado muro de Planck es el misterio total. 10^{-43} segundos, es lo que los físicos han llamado el tiempo de Planck. Es también el límite último de nuestros conocimientos, el fin de nuestro viaje hacia los orígenes. Los astrofísicos toman como punto de partida las primeras milmillonésimas de segundo que siguieron al origen del universo, y estiman un tiempo de 10^{-43} segundos después de la explosión original, como tiempo de formación de la materia.

Tras la "gran explosión", según la terminología acuñada por Fred Hoyle (1915-2001), el universo se dilataría y se enfriaría. Aproximadamente 200 segundos después del primer instante, las partículas elementales se reunirían para formar los isótopos de los núcleos de hidrógeno y de helio. Transcurridos unos 100 millones de años, en medio de inmensos torbellinos de gas, se formarían las primeras estrellas. A cierta distancia de la masa inicial conocida como protosol se irían produciendo masas de mayor condensación, que serían el origen de cuerpos proto-estelares separados, que se convertirían en estrellas, y a partir de ellas se separarían los planetas. Los satélites solares incluyendo el planeta Tierra y los demás asteroides debieron formarse de forma simultánea hace unos 4.600 millones de años.

Se puede decir que la Tierra surgió como un planeta de tamaño medio en un sistema estelar normal situado en el suburbio de una galaxia emplazada entre billones de galaxias. Una vez formado el planeta, los siguientes mil o dos mil millones de años de existencia de la Tierra debieron ser geológicamente muy inestables, debido en parte a los grandes meteoritos que embestían contra ella y que provocarían un inmenso calor en su superficie. La acreción de la Tierra culminó cuando se formó el núcleo terrestre, hace unos 4.400 millones de años, que se convirtió en una fuente de campo magnético. La desgasificación del núcleo y la expulsión de los gases darían lugar a la formación de la atmósfera primitiva. Esta, la que debió existir hace unos 3.500 millones de años sería deficiente en oxígeno y rica en dióxido de carbono (74%), agua (15%) y nitrógeno (10%).

Aquella atmósfera iría evolucionando hasta la actual, que está compuesta por un 21% de oxígeno, muy baja proporción de carbónico (0,03%), agua en estado gaseoso y una gran riqueza en nitrógeno (78%).

De la materia inorgánica a la vida

Según Carl Woese (1984) la vida debió aparecer en una atmósfera carente de oxígeno hace más de 3.500 millones de años. De esa edad son los primeros fósiles, los estromatolitos, que se parecen a un tipo actual de bacterias fotosintéticas, las cianobacterias. Sin embargo, para llegar a ellos la vida debió haber surgido antes.

Pero, mucho antes de aparecer las primeras formas de vida, en lo que llamaríamos la etapa prebiótica, debió haber una evolución química, una tendencia gradual hacia la formación de los compuestos orgánicos necesarios para dar paso al origen de las moléculas de la vida, en dependencia de las condiciones físicas del planeta.

En 1953, Stanley Miller, en la Universidad de Chicago, llevó a cabo unos experimentos, consistentes en la síntesis de componentes orgánicos en un ambiente simulado, semejante al de la atmósfera primitiva. La atmósfera artificial creada por Stanley Miller en sus experimentos contenía los gases que se supone que eran abundantes en la atmósfera primitiva: vapor de agua, metano, amoníaco e hidrógeno. En las condiciones de sus experimentos aparecía monóxido y dióxido de carbono, y 19 sustancias orgánicas entre ellas 4 aminoácidos. Se ha supuesto que serían necesarios unos 100.000 años para llegar a acumular suficiente materia orgánica como para formar una capa de varios centímetros de materia orgánica sobre la superficie terrestre, asumiendo una eficiencia en la síntesis de materia orgánica similar a de los experimentos de Miller

Una vez que se habían formado componentes orgánicos en cantidad, el siguiente paso debió ser su concentración en una medida tal que pudiera dar lugar a moléculas más complejas. La teoría sobre la evolución química de la materia orgánica más aceptada hasta ahora fue propuesta independientemente hacia los años veinte por el investigador escocés John B.S. Haldane¹ (1892-1964) y el ruso Alexander Oparin² (1894-1980). Según estos autores el primer ser vivo se debió formar a partir de sustancias orgánicas sencillas, favorecidas por un acumulo de factores físicos y ambientales. John Haldane propuso que el mar debió constituir un inmenso laboratorio en el que se formaron las primeras moléculas orgánicas, favorecido por la radiación solar. El mar sería como una “sopa caliente de sustancias en disolución”. En 1953, Alexander Oparin estableció la hipótesis de la formación de partículas coloidales, gotas de coacervados o microsferas. Estas serían como burbujas repletas de moléculas que flotarían en el agua. Las microsferas, serían capaces de absorber sustancias químicas del agua que las rodease, y de esta forma se iría enriqueciendo y elevando la concentración de componentes químicos en su interior.

Del análisis y composición bioquímica de los seres vivos actuales sabemos que cualquiera que fuera nuestro antepasado común, debía tener moléculas capaces de almacenar información genética, ácidos nucleicos, y moléculas destinatarias de esta información, proteínas. Tal vez cabría pensar en algún tipo de proteínas primitivas con capacidad de replicación, o en algún tipo de ácido nucleico con capacidad de catalizar reacciones. En cualquier caso, estamos ante una paradoja: haría falta la presencia tanto de ácidos nucleicos como de proteínas, antes de que la selección natural pudiese actuar como en el presente, y por otra parte la asociación es bastante improbable como para que haya ocurrido sólo por azar. El problema que plantea el conocimiento del origen de la vida se puede plasmar en una pregunta ¿cómo se llegó a formar un sistema interdependiente de ácidos nucleicos y proteínas?.

A finales de los años sesenta, los investigadores Carl Woese³, Francis Crick⁴ y Leslie Orgel⁵, sugirieron independientemente que el ARN pudo ser el primer tipo de ácido nucleico responsable de la información genética en los seres vivos más primitivos.

Cualquiera que fuera el origen de las células primitivas, de acuerdo con Carl Woese⁶, éstas no siguieron un rastro genealógico estable. Los ensayos de diseños de células debieron ser muy variables y cambiantes con continuas alteraciones en las que la “transferencia horizontal” de secuencias génicas de unas células a otras, por absorción del medio, fagocitosis u otros medios,

¹ Haldane, J. B. S., *The Origin of Life*, en Bernal, J. D. ed., *The Origin of Life*: London, Weidenfeld and Nicolson (1929)

² Oparin, A. I. *Genesis and Evolutionary Development of Life*: New York, Academic Press (1968)

³ Woese, C.R., *A proposal concerning the origin of life on the planet earth*. *J Mol Evol.* 13(2):95-101. (1979).

⁴ Crick, F. *Molecular Biology in the Year 2000* *Nature* 228, 613-615 (1970).

⁵ Orgel, L.. *The origin of life on earth*. *Scientific American.* 271 (4) p. 82. (1994)

⁶ Woese, C.R. *On the evolution of cells*. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 99(13): 8742–8747. (2002)

constituiría la principal fuerza impulsora en la evolución celular temprana. La evolución celular primitiva debió ser básicamente comunal. A partir de comunidades de tipos de células primitivas se ensayarían y desarrollarían nuevos diseños individuales, que serían continuamente puestos a prueba en los diferentes ecosistemas en que se originasen, dando lugar a nuevos tipos de células, como describiremos en más detalle en el siguiente capítulo.

La sopa prebiótica, rica en materia orgánica, serviría para dar sustento a linajes de seres heterótrofos. Estos debieron acabar con la sopa prebiótica y empezaron a alimentarse de protocélulas fotosintéticas. Los organismos modernos deben proceder todos ellos de un único sistema protocelular, dotado del código genético que ha llegado hasta nuestros días. Algunos autores han sugerido la denominación de LUCA (= Last Unknown Cell Ancestre) o cenancestro para referirse al protobiónte, un ser unicelular precursor de todos los seres vivos.

De acuerdo con lo anterior, probablemente el ácido nucleico inicial fuese el ARN. Este tipo de molécula, eventualmente evolucionó hacia ADN y con el tiempo hacia sistemas como los actuales. El proceso evolutivo exigiría ir añadiendo nuevos elementos al sistema. Algunas moléculas simples de ácidos nucleicos adoptaron el papel de ARN de transferencia, para conducir a los aminoácidos durante la polimerización de los péptidos. El sistema de código genético debió haber sido muy simple al principio, con una serie de combinaciones sencillas de bases nucleotídicas (=codones) que especificarían unos pocos aminoácidos. Una vez alcanzado un código genético eficaz la selección natural actuaría en su favor y quedaría congelado confiriendo a sus portadores un éxito imposible de alcanzar por otros sistemas hipotéticos alternativos.

De la vida a la vida humana

Hace más de 2000 años Aristóteles clasificó al hombre como un animal de sangre caliente y destacó la enorme proporción de su cerebro. También subrayó su especial inteligencia y su capacidad de relación con sus semejantes cuando sentenció que “el hombre es un animal político”. El naturalista sueco Carl Von Linné (1707-1778) publicó en 1758 una ingente obra titulada “Sistema Naturae”, que suponía un primer intento de ordenación y clasificación de todos los seres vivos. Linné propuso por primera vez el género Homo para designar el grupo al que pertenecemos e incluyó en él una única especie, el Homo sapiens. En su entorno, el grupo común en el que se integraban los humanos, los simios y los monos fue bautizado como “Primates”, que quiere decir los “primeros entre los animales”. En 1863, Thomas Henry Huxley (1825-1895), un ardiente defensor de la obra de Darwin, escribió un ensayo titulado “El Lugar del Hombre en la Naturaleza”⁷, en el que señaló que el hombre difiere menos del chimpancé y del orangután que éstas especies de los monos inferiores. De hecho, Charles Darwin había incluido a la especie humana en el mismo esquema evolutivo de todas las especies, preconizado en su obra principal “Sobre el Origen de las Especies por Selección Natural”⁸. Este mismo autor, a finales del siglo XIX, en su libro “El Origen del Hombre y la Selección en relación al sexo”⁹, proponía la evolución del hombre a partir de antepasados semejantes a monos, lo que levantó una importante polémica, debido no sólo a razones de índole religioso, sino además por el hecho de que en aquella época se carecía casi por completo de restos fósiles de los primates primitivos, de los que de acuerdo con Darwin debieron surgir los humanos modernos que asignamos a la especie Homo sapiens. Como señala Roger Lewin en su obra “Evolución

⁷ Huxley, Th. H. *Man's Place In Nature And Other Anthropological Essays*, New York, Appleton (1896).

⁸ Darwin Ch.. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life* (1859).

⁹ Darwin Ch. *The Descent of Man and Selection in Relation to Sex*. (1871)

*Humana*¹⁰ “...la conclusión de Huxley de que –los humanos presentan una estrecha relación evolutiva con los grandes monos, particularmente con los africanos- fue un elemento clave para la mayor revolución de la historia de la filosofía occidental: “los humanos pasaron a ser considerados como formando parte de la naturaleza y no aparte de la naturaleza”.

Casi un siglo y medio después de que Darwin publicara la teoría de la evolución, contamos con un amplio repertorio de restos fósiles de seres con rasgos primitivos próximos al hombre, fruto de numerosas exploraciones y excavaciones en muchos lugares del mundo, que son pruebas irrefutables del origen del hombre a partir de otras especies extinguidas. No obstante, el problema del conocimiento de la línea evolutiva seguida hasta la consecución de nuestra singular especie, dentro de un grupo de animales semejantes a los monos actuales, dista mucho de estar completamente resuelta.

Desde el punto de vista biológico nuestra especie cuenta con el mismo tipo de componentes moleculares y celulares, propiedades y funciones biológicas, que el resto de las especies que existen en la biosfera. Con el resto de los animales superiores compartimos la organización biológica, los mismos tipos de células, semejantes modos de desarrollo y reproducción y miles de genes que ejercen funciones idénticas. El entroncamiento en el mundo animal se acentúa si nos restringimos a los Mamíferos, con los que tenemos en común una mayor semejanza física y el mismo modo de reproducción y gestación, garantizadora de un desarrollo en estrecha dependencia de la madre. Finalmente con los primates se acentúa la similitud genómica, se reducen las diferencias en el semblante morfológico y corporal y se evidencian nuevas semejanzas en el comportamiento y la relación entre los individuos, si bien existe un gran contraste en una serie de aspectos relacionados con el modo de locomoción, la capacidad de comunicación y sobre todo inteligencia.

En septiembre de 2005 se publicó en la revista *Nature* y en otra serie de medios científicos de comunicación, un análisis comparativo de los genomas del hombre y el chimpancé, en el que se señalaba que las diferencias que se aprecian en el ADN de ambas especies se reducen a un 4 %. En una primera aproximación el dato parece sorprendernos, por lo que se puede interpretar como un elevado grado de coincidencia en la información genética. Sin embargo, no debe entenderse en la dirección de minimizar las enormes diferencias que existen entre el hombre y nuestro primate más próximo. El análisis comparativo del genoma humano y el chimpancé han revelado 35 millones de mutaciones de simples cambios de bases nucleotídicas en el ADN (SNPs) además de muchas pérdidas o adición de bases y otras muchas inserciones o deleciones de regiones del genoma, acumulados durante cinco o seis millones de años de evolución divergente. La mayoría de las mutaciones cruciales para la evolución humana son recientes, ya que han ocurrido en los últimos 500.000 años. Sin embargo, el análisis comparativo demuestra que no es tan importante la estructura del ADN como la utilización de la información genética que contienen los genomas de ambas especies, existiendo grandes diferencias en los patrones de expresión genética de los genes que se consideran comunes. Las aparentemente pequeñas diferencias de cambios de base en los genes homólogos son tan importantes que suponen diferencias superiores al 80% de las proteínas que codifican. Por otra parte, el hombre y la mosca de la fruta comparten alrededor de un 50% de secuencias comunes de ADN y la comparación con otras especies animales está demostrando valores más o menos semejantes, dependiendo de la distancia evolutiva existente, todo lo que no hace más que redundar en la necesaria conservación de los genes de funciones esenciales en los distintos linajes evolutivos y en el origen monofilético de todos los seres vivos.

Pero por encima de los componentes moleculares, la estructura del ADN y los genes estructurales y su funcionamiento, se evidencia en el hombre una diferencia sustancial más importante, que es la de la existencia de su sentido trascendente de la existencia y de

¹⁰ Lewin R. *Evolución Humana*. Salvat Ciencia. Barcelona (1994).

autoconciencia, del que dimanaban la libertad, la voluntad y el modo ético de afrontar cada decisión en la vida. Esta es la principal diferencia entre el hombre y el resto de los animales. Una diferencia que puede explicarse cuando en la dirección evolutiva hacia el hombre, éste adquiere una capacidad de sentirse un ser distinto y único en la naturaleza en relación con un Creador.

Bibliografía complementaria

- Allègre, C.J., Schneider, S.H. (1994). *La evolución de la Tierra*. Investigación y Ciencia, Dic. 36-45.
- Ayala, F.J. (1980). *Origen y evolución del hombre*. Alianza Universidad. Alianza Editorial. Madrid.
- Cann, R.L., Stoneking, M., Wilson, A.C. (1987). Mitochondrial DNA and human evolution. *Nature*, 325: 31-36.
- Cavalli-Sforza, L.L. (1998). *The DNA revolution in population genetics*. *Trends in Genet*, 14: 60-65.
- Cela Conde, C.J., Ayala, F.J. (2001). *Senderos de la Evolución Humana*. Alianza Editorial. Madrid.
- Dobzhansky, Th., Ayala, F., Stebbins, L., Valentine, J.W. 1980. *Evolution*. Omega. Barcelona
- Dyson, F.J. (1999). *Origins of life*. Cambridge Univ. Press.
- Fortey, R. (1998). *Life: A natural history of the first four billion years of life on earth*. Knopf.
- Garzón, L. (1995) *El origen e la vida: un nuevo escenario*. Servicio de Publicaciones, Universidad de Oviedo.
- Gauld, S.J. (1994). *La evolución de la vida en la Tierra*. Investigación y Ciencia, Dic. 55-61.
- Gauld, S.J., Andrews, P., Barber, J., Tibbles, J.P. (2001). *The book of life: an illustrated history of the evolution of life on earth*. Springer Verlag.
- González, G., Brownlee, D., Ward, P.D. (2001). *La vida en el universo*. Investigación y Ciencia, Dic. 58-71.
- Guardinil, R. (1967). *La existencia del cristianismo*. Biblioteca de Autores Cristianos. Madrid
- Harding, R.M., et al., (1997). *Archaic African and Asian lineages in the genetic ancestry of modern humans*. *Am. J. Human Genet*, 60: 772-789.
- Horneck, G. (Ed.). (2002). *Astrobiology: the quest for the conditions of life*. Springer Verlag.
- Jouve, N. (2004). *Biología, Vida y Sociedad*. Editorial Antonio Machado. Madrid
- Kauffman, S.A. (1993). *The origins of order: self-organization and selection in evolution*. Oxford Univ. Press.
- Liebes, S., Sahtorius, E., Swimme B. (1998). *A walk through time: from stradush to us: the evolution of life on earth*. Foundation for Global Coomunity.
- Martini, C. M. (2002). *Horizontes y límites de la Ciencia*. Edicep, Valencia.
- Melina, L. (1999) *Reconocer la vida. Problemas epistemológicos de la Bioética*. En *¿Qué es la vida?. La bioética a debate*. Ediciones Encuentro, Madrid.
- Nei, M., Kumar, S. (2000). *Molecular Evolution and Phylogenetics*. Oxford Univ. Press.
- Orgel, L.E. (1994). *Origen de la vida sobre la Tierra*. Investigación y Ciencia, Dic. 47-53.
- Peebles, P.J., Schramm, D.N., Khon, T., Khon, R. (1994). *Evolución del universo*. Investigación y Ciencia, Dic. 13-19.
- Tattessall, I. (1997). *De Africa ¿una y otra vez?*. Investigación y Ciencia junio 1997:20-28.
- Weinberg, S. (1994). *La vida en el universo*. Investigación y Ciencia, Dic. 6-11
- Wong, K. (2004). *Migraciones prehistóricas de Africa a Eurasia*. Investigación y Ciencia abril 2004: 6-14.