

—BAJO LA LUPA—

DE LO VIVO A LO NO VIVO:

UN FENÓMENO BIOLÓGICO Y FILOSÓFICO CON IMPLICACIONES SOCIALES.

Dr. Carlos Ramírez

En las últimas décadas, ha habido un desarrollo intensivo en biología molecular y su penetración en varios campos de la biología y medicina. Pero en este entorno se esconden interrogantes que desde los antiguos griegos hasta el siglo XXI han sido materia de grandes debates y no pocos desencuentros entre los investigadores, científicos y filósofos. Uno de estos, y tal vez el más algado de todos, es definir el concepto de “vida y de lo vivo”.

Para los filósofos de la era de Demócrito, la pregunta de qué es la vida y la conciencia era problemática ya que las entidades vivientes exhibían fenómenos que no se ven en la materia no viviente. Por el contrario, para Aristóteles la persistencia de los flujos vivos frente al aparente mundo material era un fenómeno paradigmático e irreducible.

Carlos Darío Ramírez M, MSc, Dr en Ciencias, Genética humana. Unidad de Estudios Genéticos y Forenses (UEGF), Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC),

René Descartes reconceptualizó radicalmente el “problema de la vida” por su dualismo de materia y mente; la definición de vida debía buscarse en las interacciones mecanicistas de la materia. Hubo una reacción vitalista a tal programa mecanístico durante el siglo XIX y principios del XX, que abarcaba desde antimaterialistas románticos a través de químicos que buscaban un nuevo tipo de fuerza newtoniana (una “fuerza vital”) a materialistas con una intuición de la importancia del todo organizado para los fenómenos vivos.

Una de las características relevantes de muchas teorías sobre el origen de la vida de finales del siglo XIX y principios del XX, es el hecho de que generalmente usan concepciones de la vida, en lugar de definiciones explícitas de la vida.

En las obras de Buffon, Lamarck, Darwin, Huxley, Oparin o Haldane, podemos ver cómo sus pensamientos sobre el origen de la vida están incluidos en teorías completas sobre la evolución de la Tierra y la evolución de la vida y sus concepciones complejas de la vida (figura 1).

En la “Histoire Naturelle” [Buffon, 1749. *Histoire naturelle générale et particulière. Imprimerie royale, Paris, tome second*], el naturalista francés Buffon no definió la vida, sino que dio una teoría completa de la vida basada en conceptos importantes. Su concepto de moléculas orgánicas es un punto central de su teoría. Afirmó que estas entidades microscópicas están vivas y constituyen todos los organismos en la naturaleza. De hecho, las plantas reciben moléculas orgánicas en el suelo con sus raíces y los animales reciben moléculas orgánicas al comer plantas y otros animales. Cuando mueren, los organismos vivos liberan sus moléculas en el suelo. Las moléculas orgánicas también son centrales en el concepto de especie propuesto por Buffon. Él afirma que durante la generación de organismos vivos, las moléculas orgánicas son responsables de la organización de cada especie. De esta manera, el concepto de especie de Buffon pertenece a una visión muy amplia sobre la vida. Según él, las especies no son solo colecciones de seres vivos en un momento específico, sino también la perpetuación de estas colecciones a través del tiempo, generación tras generación. Desde el punto de vista de Buffon podemos subrayar que la vida es una propiedad de la materia. La naturaleza produce la vida y esta producción encuentra su lugar en la historia de la Tierra.

En los inicios del siglo XIX, Jean-Baptiste Lamarck postula la animalización de la materia como una presentación sintética de toda



Figura 1. Algunos de los investigadores que abordaron el origen de la vida.

originalmente insuflado en una nueva forma o en una; mientras que este planeta ha ido girando de acuerdo con la ley fija de la gravedad, desde un comienzo tan simple, las formas interminables más bellas y maravillosas han sido, y están

su teoría evolucionista o transformista. Esta descripción de hecho utiliza los conceptos fundamentales de su teoría: fluidos, hábitos y modificación. Con estos conceptos, Lamarck puede explicar todas las transformaciones de organismos, desde animales hasta mamíferos. Con Lamarck, vemos que la definición de vida depende de los procesos de transformación que incluyen la generación espontánea, así como la formación de especies.

Charles Darwin en "El origen de las especies", no dio ninguna definición de vida [Darwin C, 1859. *The origin of species*. Penguin Books, London]. Su aproximación al concepto de vida se refería a las pruebas y causas de los procesos evolutivos de las especies, pero no estaba interesado en la caracterización de la vida en términos físicos o químicos (figura 2). Nos damos cuenta que con Darwin, la vida se convierte en un proceso histórico. Sin embargo, hizo hincapié en que no hay pistas del comienzo de este proceso: "no hay ningún fósil de aquellos tiempos muy antiguos". En las últimas líneas de su libro, afirma que "hay grandeza en esta visión de la vida, con varios poderes, habiendo sido

siendo evolucionadas [Darwin 1859, pp 459-460]. Sin embargo, en este libro, no dio más detalles sobre el origen de la vida. Fue solo en su famosa carta a Hooker que describió un fenómeno hipotético primordial: "*a menudo se dice que todas las condiciones para la primera producción de un organismo vivo están ahora presentes, lo que podría haber estado presente. Pero si (y oh qué grande) podríamos concebir en algún pequeño estanque cálido con todo tipo de sales amoniacales y fosfóricas, luz, calor, electricidad, etc, presente, que un compuesto proteico se formó químicamente, listo para someterse a cambios aún más complejos, en el presente día tal materia sería devorado instantáneamente, o absorbido, que no habría sido el caso antes que las criaturas vivas se formaran*" [Darwin 1871 in Calvin M, 1969. *Chemical evolution. Molecular evolution towards the origin of living systems on earth and elsewhere*. Clarendon, Oxford].

En los albores del siglo XX, Sir Frederick Gowland Hopkins, el primer Profesor de Bioquímica en la Universidad de Cambridge rechaza el reduccionismo ingenuo de los

mecanicistas así como el cripto-vitalismo de los biólogos que veían al protoplasma como algo irreducible. En su discurso a la Asociación Británica para el Avance de la Ciencia dada en 1913, Hopkins articuló las bases conceptuales de un enfoque molecular a la vida en la que describe la célula como una máquina química cuyas transformaciones estaban catalizadas y reguladas por las enzimas, obedeciendo las leyes de las estructuras moleculares y las funciones termodinámicas. "*La célula viva no es una masa de materia compuesta por una congregación de moléculas, sino un sistema altamente diferenciado: la célula, en la fraseología moderna de la química física, es un sistema de fases coexistentes de diferentes constituciones*" Hopkins concluía que "*La vida es una propiedad de la célula como un todo, porque depende de la organización de los procesos*" [Hopkins FG, 1913 (1949) *The dynamic side of biochemistry. Report of the British Association 1913: 652-658, reimpresso por Needham J, Baldwin E. Eds. 1949*].

El fisiólogo J. A. Haldane argumentó que tal organización como se ve en los sistemas de vida no era análoga al orden visto en los sistemas físicos y químicos, aunque rechazó la noción de una fuerza vital como simplemente otra forma de reduccionismo [Haldane JS, 1931. *The philosophical basis of life*. Doubleday, Garden City].

En este entorno, es importante tener una ley biológica que pueda unificar las funciones de todos los organismos vivos unicelulares y multicelulares, así como portadores no vivos de información genética, en un solo sistema de definición biológica de la vida.

El bioquímico Ruso Aleksandr I. Oparin propuso una teoría para el origen temprano de la vida en la historia de la Tierra, postulando que la atmósfera era muy diferente de hoy [Oparin AI, 1924. *Proiskhozhdenie zhizny. The Origin of Life. Ann*



Figura 2. Charles Darwin, no estaba interesado en la caracterización de la vida en términos físicos o químicos, sino que la vida se convierte en un proceso histórico.

Synge Trans. In: Bernal JD (ed.) *The origin of life*. Weidenfeld and Nicholson, London, 1967]. Dicha atmósfera debió ser rica en metano (CH₄), amoníaco (NH₃) y agua (H₂O), y sin oxígeno, era una atmósfera reductora, en contraste con el entorno oxidante de nuestra era. En la teoría de Oparin, la energía eléctrica de las descargas de los rayos o la energía térmica de los volcanes causaron que los componentes como el amoníaco, metano, vapor de agua y otros componentes de la atmósfera primitiva reaccionaran para formar compuestos orgánicos simples. Estos compuestos luego se disolvieron en los antiguos mares, que durante muchos milenios se enriquecieron con una gran variedad de sustancias orgánicas simples. En esta solución caliente (la "sopa primordial"), algunas moléculas orgánicas tenían una tendencia mayor que otras a asociarse en complejos más grandes. Durante millones de años, estos a su vez se ensamblaron espontáneamente para formar membranas y catalizadores (enzimas), que se unieron para convertirse en precursores de las primeras células.

Las opiniones de Oparin se mantuvieron durante muchos años y parecieron ser bastantes especulativas, hasta que se llevó a cabo un experimento sorprendente utilizando un equipo simple de laboratorio.

El experimento clásico sobre el origen abiótico (no biológico) de las biomoléculas orgánicas se llevó a cabo en 1953 por Stanley Miller (figura 3) en el laboratorio de Harold Urey [Miller SL, 1953. *A production of amino acids under possible primitive earth conditions. Science 117:28-29*]. Miller empleó mezclas gaseosas de NH_3 , CH_4 , H_2O y H_2 que fueron sometidas a chispas eléctricas producidas a través de un par de electrodos (para simular un rayo) durante períodos de una semana o más, luego analizó el contenido del recipiente de reacción cerrado. La fase gaseosa de la mezcla resultante contenía CO y CO_2 , así como los materiales de partida. La fase acuosa contenía una variedad de compuestos orgánicos, incluyendo algunos aminoácidos, hidroxiácidos, aldehídos y cianuro de hidrógeno (HCN). Este experimento estableció la posibilidad de producción abiótica de biomoléculas en tiempos relativamente cortos bajo condiciones relativamente suaves en el laboratorio (figura 3).

Experimentos de laboratorio más refinados han proporcionado buena evidencia de que muchos de los componentes químicos de las células vivas, incluidos polipéptidos y moléculas similares a ARN, pueden formarse bajo estas condiciones. Los polímeros de ARN pueden actuar como catalizadores en reacciones biológicamente significativas, y el ARN probablemente jugó un papel crucial en la evolución prebiótica, tanto como catalizador como repositorio de información [Orgel, L. E. *Prebiotic chemistry and the origin of the RNA world. Crit. Rev. Biochem. Mol. Biol. 2004, 39, 99-123. Das T, Ghule S, Vanka K. Insights into the Origin of Life: Did It Begin from HCN and H₂O? ACS Cent Sci. 2019;5(9):1532-1540*].

Erwin Schrödinger definió la vida basada no solo en un cristal aperiódico "auto-reproductivo" de ADN que codifica proteínas, sino dentro del contexto de entidades



vivientes que aumentan su orden al disipar los gradientes de materia/energía para mantenerse alejados del equilibrio [Schrödinger E, 1944. *What is life? The physical aspect of the living cell. Cambridge University Press, Cambridge*]. Desde entonces, la mayoría de las definiciones de

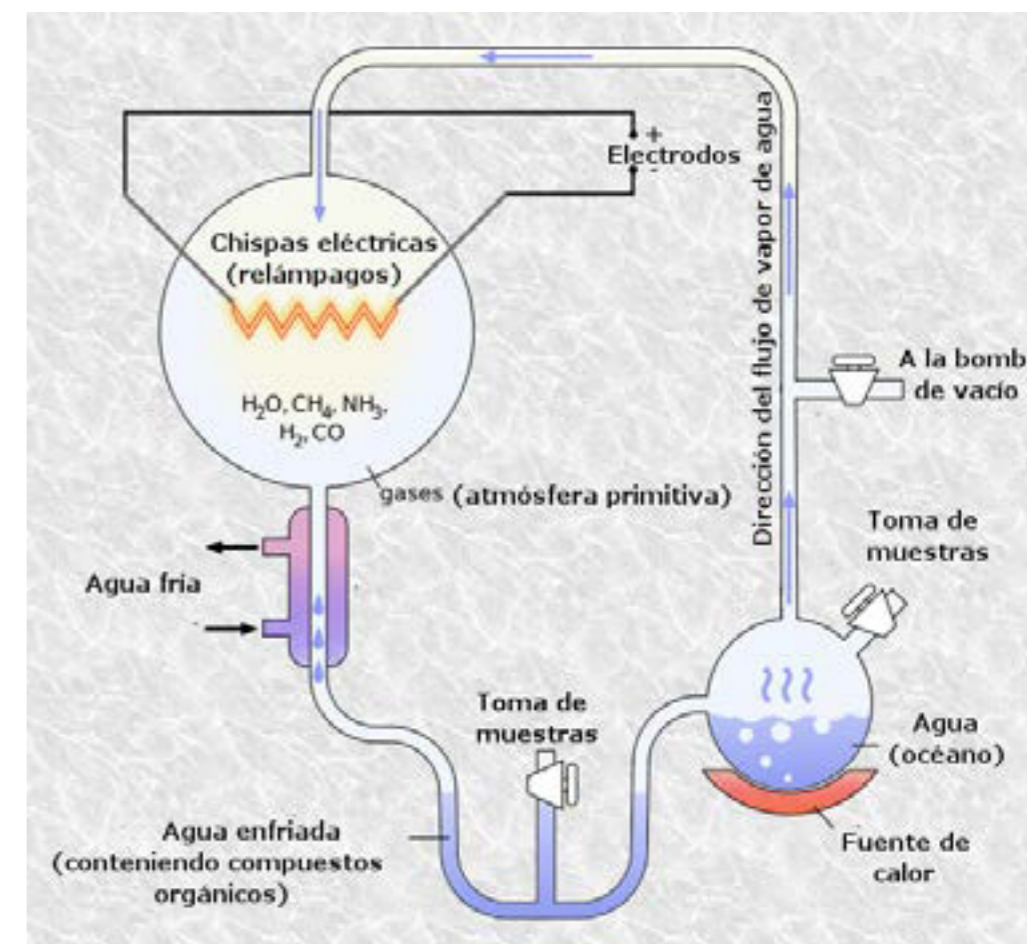


Figura 3: (Izquierda) El biólogo Stanley Miller frente a su diseño experimental para realizar sus famosos ensayos, 1953. (Derecha) El aparato se llena con una atmósfera de metano, amoníaco e hidrógeno. Un globo lleno de agua simula un océano primitivo (el agua es calentada por una resistencia, lo que contribuye a enriquecer la atmósfera de vapor de agua). Dos electrodos, que se utilizan para producir relámpagos, suministran energía al sistema. Después de una semana de funcionamiento, diversos compuestos orgánicos incluyendo aminoácidos precipitan en el fondo del matraz.

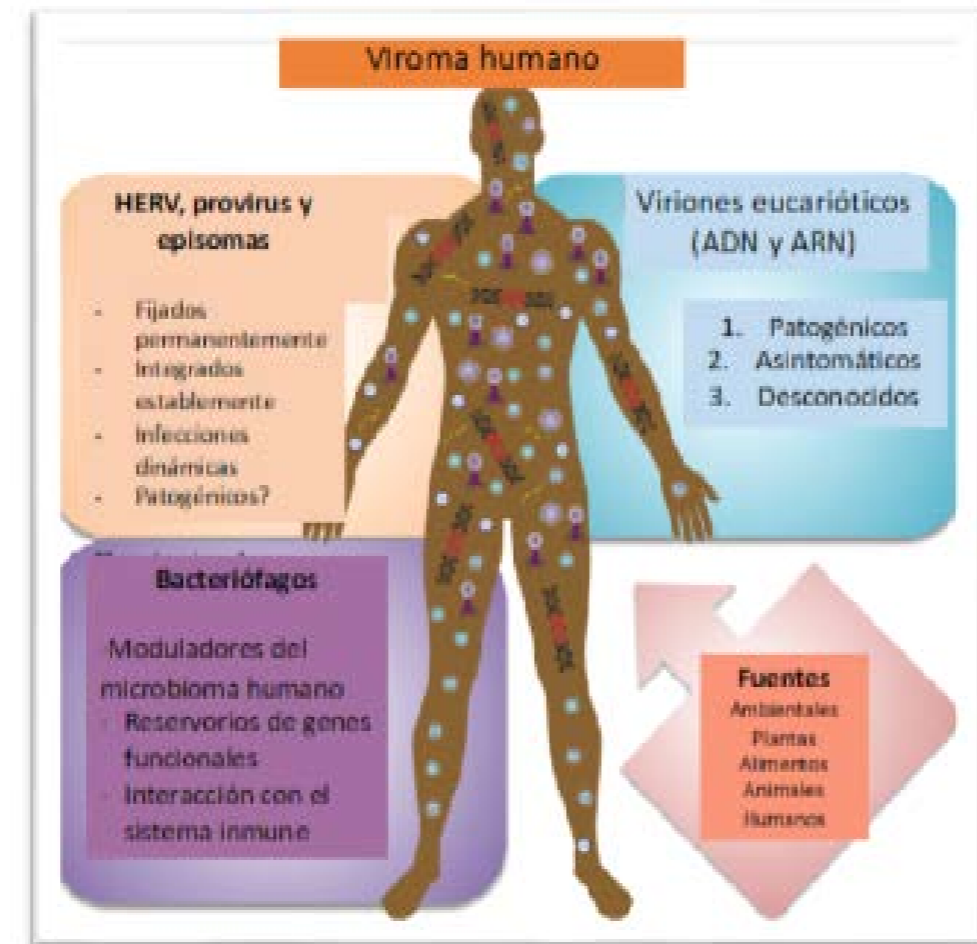
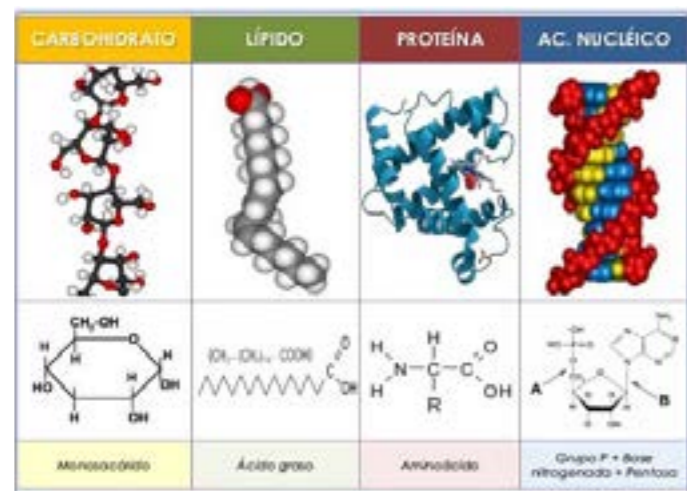
vida se han centrado en el ADN, las proteínas y las interacciones entre estas biomoléculas (figura 4). Pero las células vivas hacen más que replicar su ADN. Las células también tienen barreras

de membrana a través de las cuales los metabolitos se pueden mover, y en las cuales ocurre la transducción de energía, así como el procesamiento de la información, y dentro de la cual ocurre la transformación metabólica. Un enfoque de la dinámica de sistemas

complejos, incluida la termodinámica del no equilibrio, puede proporcionar un enfoque más sólido para definir la vida que un "replicador desnudo" en el origen de la vida. Las entidades vivas pueden ser vistas como sistemas acotados, que exhiben ciclos autocatalíticos de alimentación en gradientes de materia/energía, capaces de crecer, reproducirse y evolucionar. La comprensión de cómo la vida podría haber surgido debe agudizar nuestra definición de lo que es la "vida" [Weber BH. *What is life? Defining life in the context of emergent complexity. (published correction appears in Orig Life Evol Biosph. 2011 Feb;41(1):101. Orig Life Evol Biosph. 2010; 40 (2): 221-229*].

LOS VIRUS EN LA FRONTERA DE LO VIVO Y NO VIVO

En las antiguas y arduas discusiones sobre la vida, los virus han sido parte destacada de dicha polémica. Los virus, los últimos parásitos, se han considerado siempre en la frontera entre lo vivo y lo no vivo. Muchos autores han concluido que los virus no están vivos porque carecen de autonomía y metabolismo. Esta conclusión fue incluso aprobada oficialmente por el Comité Internacional de Taxonomía de Virus (ICTV, por sus siglas en inglés). Esto llevó a la mayoría de los evolucionistas a considerar los virus como subproductos de evolución biológica que no podrían haber jugado un papel importante en la historia de la vida. Por ejemplo, Moreira y López-García escribieron que *“los virus solo han jugado un papel menor en la configuración del contenido genético de las células”* [Moreira D, López-García P. *Ten reasons to exclude viruses from the tree of life. Nat Rev Microbiol* 2009; 7:306-11]. Como consecuencia, todavía faltan considerar a los virus en los libros de texto dedicados al origen y la evolución de la vida y en los escenarios que describen los principales pasos de la historia de la vida en nuestro planeta. Koonin y Wolf recientemente acotaron correctamente que *“los virus no son parte de la síntesis moderna o más generalmente de la narrativa tradicional de la biología evolutiva* [Koonin EV, Wolf YI. *Evolution of microbes and viruses: a paradigm shift in evolutionary*



biology? Front Cell Infect Microbiol 2012; 2:119]. Una consecuencia perjudicial de esta opinión es que varios evolucionistas no pudieron reconocer que los virus pueden ser la cuna de nuevos genes y nuevas funciones.

Pero este punto de vista ha cambiado gradualmente como resultado de varios avances en diferentes campos de la biología. Los ecologistas moleculares que se centran en los “viromas” han destacado la extraordinaria abundancia de partículas virales y genes virales en el ambiente, incluidos nuestros propios cuerpos (figura 5). Somos anfitriones de una miríada de virus que infectan nuestro

Figura 4. Las biomoléculas. Son moléculas básicas de la materia viva, se originan a partir de los bioelementos. Según el tipo de enlace y presencia del carbono se clasifican en inorgánicas y orgánicas. Se les conoce como los sillares estructurales de la vida puesto que son los ladrillos o moldes básicos en los que se componen moléculas más complejas.

Figura 5. El viroma humano. Nuestro cuerpo alberga una miríada de virus adquiridos de diferentes fuentes. Incluye virus que infectan células eucariotas que circulan como viriones en el cuerpo humano. Los síntomas de estas infecciones virales varían desde imperceptibles hasta enfermedades graves e incluso fatales. Se estima que una proporción significativa de estos virus queda por descubrir y su papel se dilucida actualmente. Los virus también se encuentran latentes dentro de las células humanas (como retrovirus endógenos humanos [HERV], provirus o episomas). Algunos han perdido la capacidad de reactivarse (p. Ej., ciertos HERV), algunos pueden reactivarse pero pueden permanecer como provirus durante largos períodos de tiempo, y otros muestran pérdidas dinámicas (infecciones frecuentes con producción regular de viriones). Los bacteriófagos (es decir, los Bacteriovirus), por otro lado, solo pueden infectar las comunidades bacterianas que habitan nuestro cuerpo, pero tienen un papel relevante como moduladores del microbioma humano, como reservorios de genes bacterianos involucrados en diferentes procesos metabólicos, y contribuyen a la maduración del sistema inmune [modificado de Forterre P. *Viruses in the 21st Century: From the Curiosity-Driven Discovery of Giant Viruses to New Concepts and Definition of Life. Clin Infect Dis.* 2017;65 (suppl_1): S74-S79].

células eucariotas pero también de virus (fagos) que coevolucionan con nuestra microbiota.

Patrick Forterre puntualiza que los virus son de hecho responsables del origen de la mayoría de los genes en la naturaleza, incluidos los genes celulares [Forterre P, Prangishvili D. *The major role of viruses in cellular evolution: facts and hypotheses. Curr Opin Virol* 2013; 3:558-65]

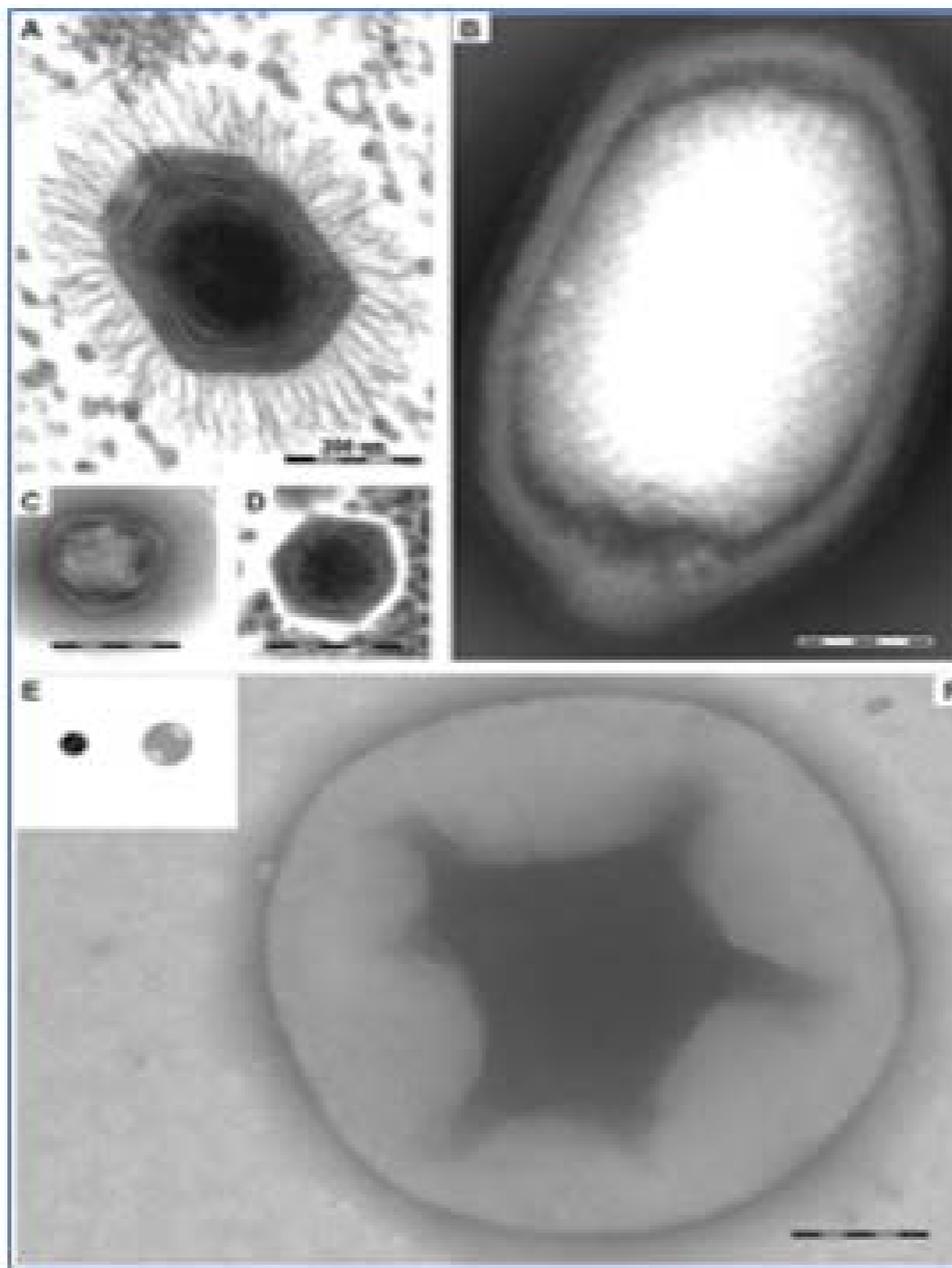
se originó a partir de la clásica asimilación de los virus a sus viriones (partículas virales). Por ejemplo, una definición bien conocida de virus postula que los virus, a diferencia de las células, solo contienen un tipo de ácido nucleico (ARN o ADN) [Lwoff A. *The concept of virus. J Gen Microbiol* 1957; 17:239-53], olvidando que los virus de ADN tienen ambos ADN genómico y ARN mensajero. Los viriones son estructuras inertes que carecen de metabolismo y se parecen más a las organelas celulares, lo que justifica la afirmación actual de que los virus, se comparan estos con sus viriones, no pueden estar vivos. En términos más generales, se puede concluir que la mayoría de la información genética en nuestro planeta se originó en virus y elementos relacionados sin cápside [Koonin EV, Dolja VV. *Virus world as an evolutionary network of viruses and capsidless selfish elements. Microbiol Mol Biol Rev*

2014; 78:278-303]. Los biólogos estructurales han demostrado un parentesco inesperado entre los virus que infectan organismos que pertenecen a diferentes dominios celulares (Archaea, Bacteria o Eukarya) al identificar rasgos homólogos en la estructura de las proteínas que forman las cápsides virales [Abrescia NG, Bamford DH, Grimes JM, Stuart DI. *Structure unifies the viral universe. Annu Rev Biochem* 2012; 81:795-822], lo que sugiere fuertemente que los virus estaban presentes en nuestro planeta mucho antes del último ancestro común universal/celular (LUCA, por sus siglas en inglés) [Forterre P, Krupovic M. *The origin of virions and virocells: the escape hypothesis revisited. In: Witzany G, ed. Viruses: essential agents of life. The Netherlands: Springer; 2012: 43-60].*

El descubrimiento de virus gigantes en el laboratorio de Didier Raoult en Marsella ha atrapado la imaginación de la comunidad científica al revelar la existencia de virus cuyos genomas son mayores que los de muchas bacterias y arqueas [Raoult D, Audic S, Robert C, et al. *The 1.2-megabase genome sequence of Mimivirus. Science* 2004; 306:1344-50]. Con el descubrimiento continuo de virus con genomas cada vez más grandes por los laboratorios de Didier Raoult, Jean-Michel Claverie y Chantal Abergel (para revisiones recientes [Abergel C, Legendre M, Claverie JM. *The rapidly expanding universe of giant viruses:*

Mimivirus, Pandoravirus, Pithovirus and Mollivirus. FEMS Microbiol Rev 2015; 39:779-96. Aherfi S, Colson P, La Scola B, Raoult D. Giant viruses of amoebas: an update. Front Microbiol 2016; 7:349]. Algunos de estos virus, como Mimivirus, Pandoravirus y Pithovirus, producen viriones que son más grandes que algunas células pequeñas arqueales o bacterianas (**Figura 6**) y todavía son visibles con un microscopio óptico. Cuando fueron observados por primera vez después de una infección hospitalaria (para Mimivirus) o en secciones de células eucariotas por protistólogos (para Pandoravirus), fueron confundidos con bacterias pequeñas (tinción de Mimivirus gram positivo) o incluso con pequeñas células eucariotas, se hizo difícil considerar que estos virus, que imitan a los microbios, no eran organismos vivos. Finalmente, algunos de estos virus pueden estar infectados por sus propios virus, los virófagos, lo cual nos lleva a preguntarnos si es posible que un virus (el virófago) pueda infectar a un organismo no vivo. Todos estos hallazgos han revivido el interés en los virus y por supuesto al tema de su definición, su naturaleza, viva o no, y la definición de la vida misma.

Definir la vida es importante para entender el desarrollo y mantenimiento de los organismos vivos y para responder preguntas sobre el origen de la vida. Varias definiciones del término "vida" han sido propuestas, aunque muchas de ellas son muy controversiales, y están basadas predominantemente en importantes propiedades biológicas de los organismos vivos como la reproducción, el metabolismo, crecimiento, adaptación, respuesta al estímulo, herencia de la información genética, evolución y la aproximación darwiniana [Forterre P. *To be or not to be alive: How recent discoveries challenge the traditional definitions of viruses and life. Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in*



History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences 2016; 59: 100-108].

Combinando varias características de los objetos vivos, Ruiz-Mirazo y colegas definen las entidades vivas como "sistemas autónomos con capacidades evolutivas abiertas, y que estos sistemas deben tener un sistema de límites semipermeable (membrana), un aparato

Figura 6. Imágenes de microscopio electrónico que muestran tamaños de partículas virales (virión) de ameba gigante en comparación con los de una bacteria. A, Mimivirus. B, Pithovirus massiliensis. C, Marsellavirus. D, Faustovirus E, Diámetros de viriones para un norovirus (disco negro) y un virus de inmunodeficiencia humana (disco gris). F, Parachlamydia. Todas las barras de escala indican 200 nm. (tomado de Forterre P, 2017).

de transducción de energía, al menos, dos tipos de componentes macromoleculares funcionalmente interdependientes (catalizadores y registros)" [Ruiz-Mirazo K, Peretó J, Moreno A. *A Universal Definition of Life: Autonomy and Open-Ended Evolution. Origins of Life and Evolution of the Biosphere 2004; 34: 323-346].*

Pero con la aparición de nuevas categorías como la vida artificial ("a-life, vida sintética") y la vida sintetizada mediante rediseño de componentes biológicos, las definiciones de vida y lo vivo retoman unas nuevas dimensiones, ya que la definición de vida debe ser universal y debe

ser cierta tanto para los organismos unicelulares como para los multicelulares, y las que hasta ahora se han hecho corresponden al fenómeno de lo vivo, pero no reflejan la conexión de los tres dominios de la vida (arquea, bacteria y eucaria) propuestos inicialmente por Carl Woese [basados en la existencia de ARN ribosomal: Woese CR, Fox GE. *Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. Proc*

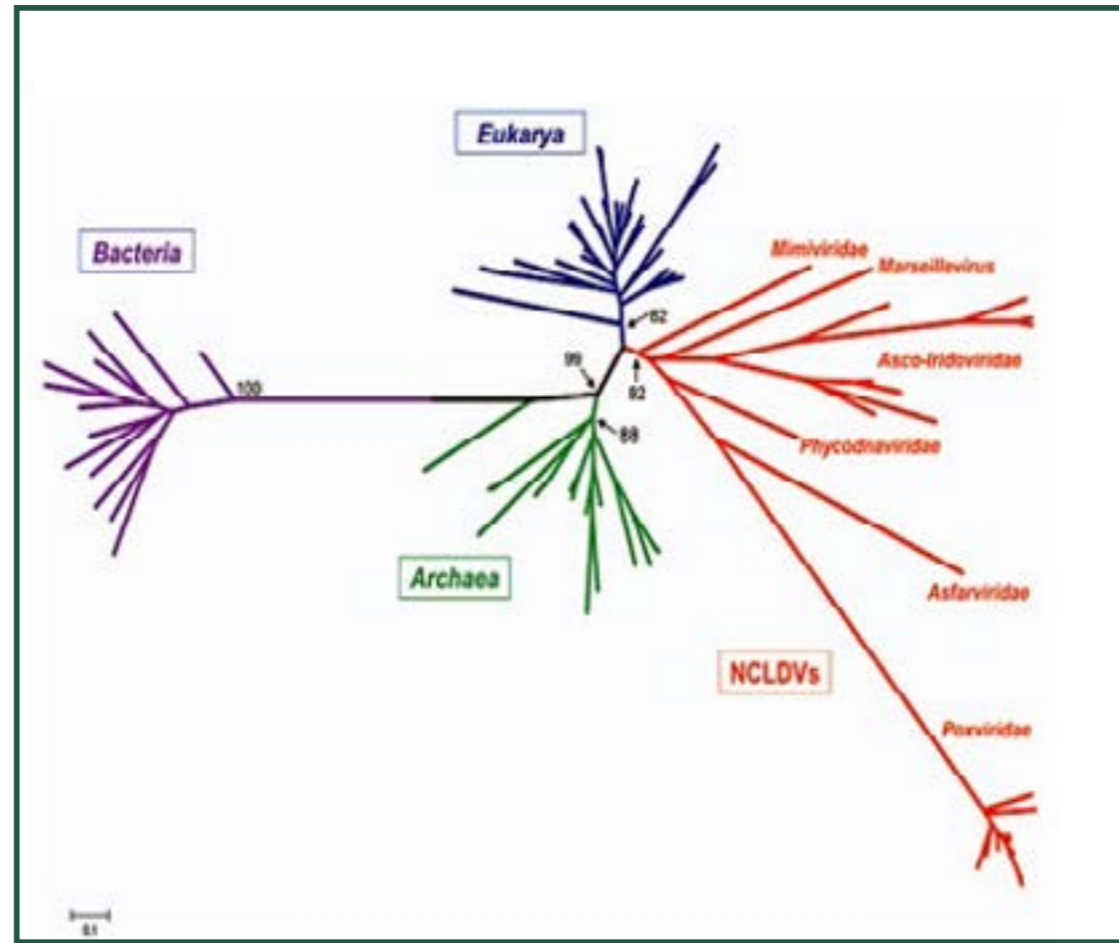
Natl Acad Sci U S A. 1977; 74(11): 5088-5090], en la red unida de la esencia de la vida y no reflejan las interacciones con los objetos no vivos.

Con la descripción de los virus gigantes en el año 2003, se abrió la caja de pandora que hasta ese momento permanecía elusiva. Los años posteriores han florecido por la permanente actualización de los virus gigantes, y la presencia de estas entidades en el mundo de la virología. En 2010, los análisis filéticos y filogenéticos basados en los patrones de presencia/ausencia de genes informativos (los genes involucrados en la biosíntesis y el procesamiento del ADN, incluida la biosíntesis de nucleótidos, la replicación y reparación del ADN, la recombinación y la transcripción) compartidos por Eukarya, Bacteria, Archaea y los NCLDVs (por sus siglas en inglés para; Nucleocytoplasmic large DNA viruses, permitieron la delineación de un cuarto dominio de la vida (que contiene a los NCLDVs) que apoya el origen monofilético y común de estos virus gigantes. La presencia de este cuarto dominio de la vida ha sido bastante controversial, aunque las etapas posteriores de los descubrimientos revelaron que estos grandes virus tienen un conjunto central común de genes, destacando un origen filogenético común, asociado con un contenido genómico específico, distinguiéndolos de los tres dominios de la vida ya definidos [Raoult D. *TRUC or the need for a new microbial classification. Intervirology, 2013;56 (6): 349-353].* Efectivamente, basados en los bancos de genes ortólogos que codifican información, podemos agrupar cuatro grupos de organismos: (i) Megavirales

(NCLDV; Nucleocytoplasmic Large DNA Viruses, (ii) Eukarya, (iii) Bacterias y (iv) Arquea (figura 7).

En un nuevo intento por lograr una definición integradora del concepto de “vida”, recientemente Tetz y Tetz proponen una nueva definición biológica de la vida basada en la función y reproducción de genes existentes y la creación de otros nuevos, que es aplicable tanto a organismos unicelulares como multicelulares [Tetz VV, Tetz GV. *A new biological definition of life. Biomol Concepts. 2020;11(1):1-6.*]. Estos autores primero definen un nuevo concepto: “metabolismo de información genética” que comprende el funcionamiento, reproducción y creación de genes y su distribución entre los seres vivos y los portadores no vivos de información genética (NLGE; non-living genetic elements).

De acuerdo a este concepto, “la vida es una materia organizada que proporciona el metabolismo de la información genética”. Los autores además describen las funciones biológicas generales de vida de acuerdo a la “ley biológica de Tetz”, que se basa en el concepto de pangenoma, definido este como el sistema genético colectivo de todos los organismos vivos y sus complejos (ADN y virus que contienen ARN, plásmidos, transposones y secuencias de inserción) que están involucradas en el almacenamiento y transmisión de la información genética [Tetz VV. *The Pangenome concept: a unifying view of genetic information. Med Sci Monit. 2005;11: HY24-29*]. El metabolismo de la información genética incluye la replicación de la información genética, modificación de funciones genéticas por metilación, reparación de ADN y ARN, alteración del ADN por mutación y recombinación, transcripción, ahorro de ADN en objetos vivos y NLGE, y propagación



de ADN y ARN por transformación, transducción, conjugación, secreción tipo 6 y vesículas de membrana.

Según esta definición, los organismos vivos pueden distinguirse de los objetos no vivos (incluidos aquellos que llevan información genética como los NLGEs), por su papel y participación en todos los procesos de metabolismo de la información genética. Los organismos vivos difieren de los no vivos portadores de la información genética en que los primeros realizan todos los procesos del metabolismo de la información genética, mientras que los NLGEs participan solo en la recombinación, mutación y difusión del material genético.

El debate sobre las características de la vida y los procesos pasados que dieron lugar a la aparición de las formas primitivas de vida a través o con la participación de moléculas capaces de portar información biológica

Figura 7. Árbol filogenético de la subunidad beta de ARN polimerasa II. Tomado de Boyer M, Madoui MA, Gimenez G, La SB, Raoult D: Phylogenetic and phyletic studies of informational genes in genomes highlight existence of a 4 domain of life including giant viruses. PLoS One 2010;5:e15530.

para la continuidad de los procesos celulares aún no se ha sanjado, pero cada día es más claro el panorama para poner a prueba los diferentes modelos propuestos sobre el origen de la vida en la tierra. No quiere decir con esto que tengamos en nuestras manos todas las

respuestas a los interrogantes planteados en los diferentes escenarios propuestos, pero son esos mismos interrogantes y problemas no resueltos los que han hecho avanzar el conocimiento para buscar explicaciones plausibles y abrir paso a nuevas preguntas y nuevos escenarios, en un continuo de preguntas y respuestas que hacen avanzar y despejar caminos para la comprensión de lo vivo y el origen de la vida. La investigación sobre el origen y la naturaleza de la vida está condenada a permanecer, en el mejor de los casos, como un trabajo en progreso. Es difícil encontrar una definición de vida aceptada por todos, pero la historia de la biología ha demostrado que algunos esfuerzos son mucho más fructíferos que otros.

Los intentos de abordar la definición de sistemas vivos a menudo no han llevado a nada más que caracterizaciones fenomenológicas de la vida, que generalmente se reducen a

una mera lista de propiedades observadas (o inferidas). Estos inventarios no solo son insatisfactorios desde un punto de vista epistemológico, sino que también pueden quedar obsoletos fácilmente y pueden no proporcionar criterios por los cuales la vida (y sus huellas) puedan definirse o reconocerse.

No cabe duda que el fenómeno de lo vivo y las propiedades que lo definen ha sido una constante incógnita en el mundo de la ciencia, pero también lo es en la vida diaria de todos los seres humanos, ya que somos una especie biológica con características muy particulares que nos han permitido hacernos preguntas básicas sobre la existencia de los organismos y hasta cuestionarnos nuestros orígenes en el tiempo. El tratar de comprender y dar explicaciones a los fenómenos de la naturaleza son una distinción humana que ha permitido el avance del conocimiento a través de los procesos de indagación, estructurada o formal, pero también por los acercamientos culturales que nos distinguen de otras formas de vida en la tierra.

Es muy posible que no estemos de acuerdo en las propuestas de la definición de la vida, pero también es bueno recordar que en ciencia puede suceder que lo más interesante de las preguntas son precisamente las que no se pueden responder o que están parcialmente respondidas, lo cual obliga a seguir indagando, explorando e intentar dar una respuesta.