

Del Big Bang a la primera célula

El rompecabezas químico del origen de la vida

Francisco Partal Ureña

Partal Ureña, Francisco

Del Big Bang a la primera célula: el rompecabezas químico del origen de la vida / Francisco Partal Ureña . – Jaén: Universidad, 2020. – (Ciencias experimentales. La ciencia al alcance de todos, 2)

96 p. ; 23 cm.

ISBN: 978-84-9159-368-3

1. Vida – Orígenes.

I. Título. II. Serie.

573.2

Esta obra ha superado la fase previa de evaluación externa realizada por pares mediante el sistema de doble ciego

COLECCIÓN: Ciencias Experimentales

Directora: M.ª Ángeles Peinado Herreros

SERIE: *La ciencia al alcance de todos, 2*

Coordinador de la serie: Antonio Marchal Ingrain

© Francisco Partal Ureña

© Universidad de Jaén

Primera edición, diciembre 2020

ISBN: 978-84-9159-368-3

Depósito Legal: J-949-2020

EDITA

Editorial Universidad de Jaén

Vicerrectorado de Proyección de la Cultura y Deporte

Campus Las Lagunillas, Edificio Biblioteca

23071 Jaén (España)

Teléfono 953 212 355

web: editorial.ujaen.es



editorial@ujaen.es

DISEÑO Y MAQUETACIÓN

José Miguel Blanco. www.blancowhite.net

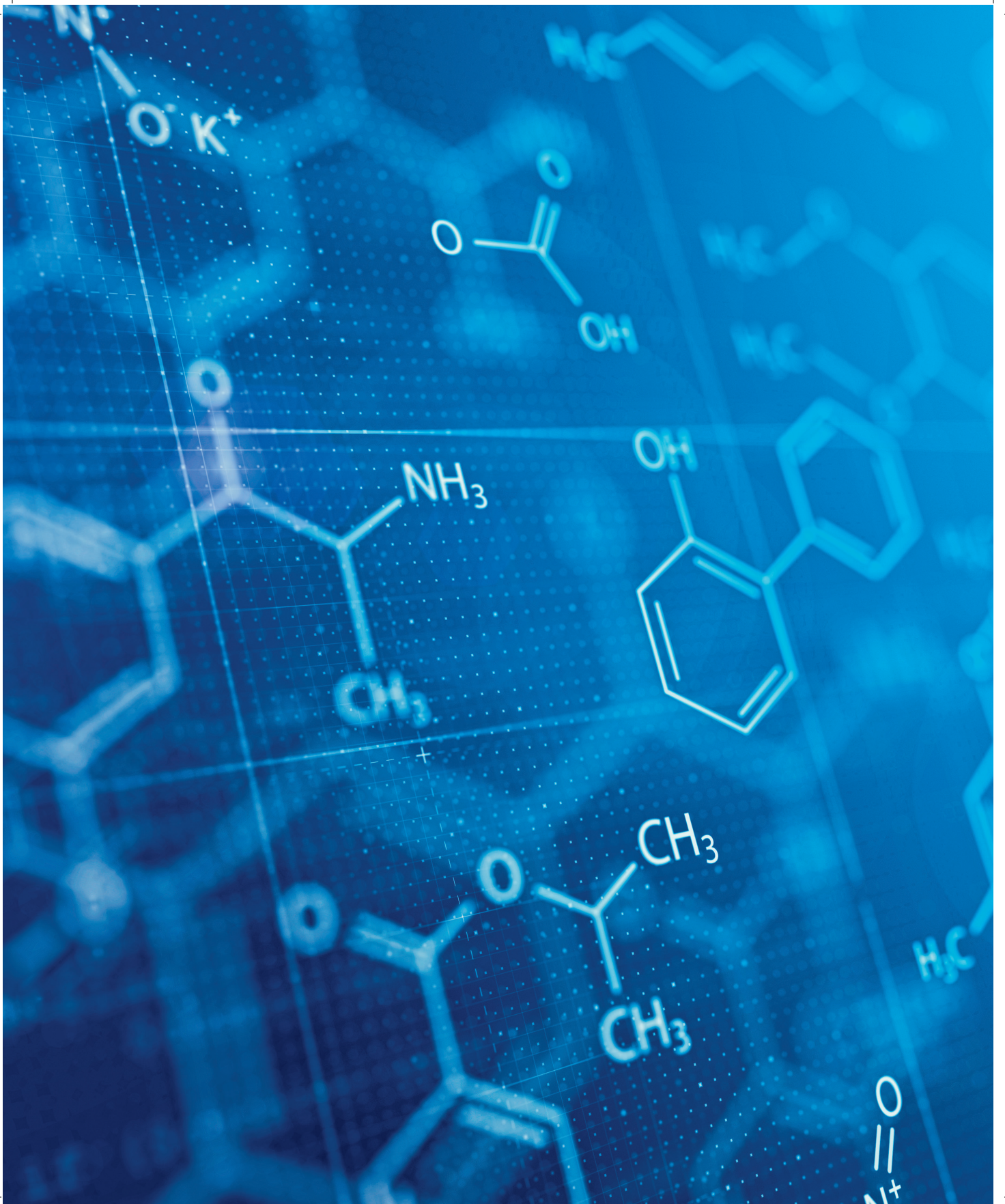
IMPRIME

Gráficas «La Paz» de Torredonjimeno, S. L.

Impreso en España/*Printed in Spain*

«Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar, escanear o hacer copias digitales de algún fragmento de esta obra».

1	¿QUÉ ES LA VIDA?	05
2	LOS INGREDIENTES DE LA VIDA	17
2.1	¿Cuál es el origen de los elementos químicos?	17
2.2	La química en el medio interestelar	25
3	EL ORIGEN DE LOS COMPONENTES QUÍMICOS DE LA VIDA EN LA TIERRA	33
3.1	Formación del Sistema Solar. Origen de la Tierra	33
3.2	La Tierra primitiva. Sus océanos y su atmósfera	44
3.3	Formación de moléculas orgánicas básicas para la vida en la Tierra primitiva	46
3.3.1	Síntesis de aminoácidos en la Tierra prebiótica. Experimento de Miller-Urey	
3.3.2	Síntesis de las bases nitrogenadas componentes del ADN y ARN. Experimentos de Joan Oró	
3.3.3	Síntesis de carbohidratos y sus derivados	
3.3.4	Posibles fuentes de energía involucradas en la generación de las biomoléculas sencillas	
3.3.5	El misterio de los compuestos derivados del fósforo	
4	EVOLUCIÓN QUÍMICA: DE LOS COMPUESTOS QUÍMICOS SENCILLOS A LA APARICIÓN DE LA VIDA	59
4.1	Hipótesis del mundo proteico	60
4.2	Hipótesis del mundo de ARN	65
4.3	Otras hipótesis sobre el origen de la vida en la Tierra	74
4.3.1	La participación de sistemas inorgánicos	
4.3.2	La influencia de las condiciones fisicoquímicas de los sistemas hidrotermales	
4.3.3	Reacciones bajo condiciones supercríticas	
4.3.4	Reacciones del tipo Fischer-Tropsch	
4.3.5	El origen quimioautótrofo de la vida	
4.3.6	El mundo de tioéster de de Duve	
4.3.7	Reacciones prebióticas a baja temperatura	
4.3.8	Teoría de la panspermia	
4.4	Epílogo: LUCA, el primer ancestro común de todos los organismos vivos	87
5	SUGERENCIAS DE LECTURAS POSTERIORES Y ALGUNAS PÁGINAS WEBS DE INTERÉS	91



1

¿Qué es la vida?

UNO DE LOS ENIGMAS CIENTÍFICOS QUE MÁS INTRIGA AL SER HUMANO y al que multitud de investigadores dedican sus esfuerzos es a poder conocer cómo y cuándo se originó la vida en el planeta Tierra. El conocer nuestros orígenes como especie y nuestro lugar en el cosmos es una pregunta que el ser humano se está haciendo desde el tiempo de los antiguos filósofos griegos, ya que es una cuestión que presenta un gran interés desde un punto de vista científico, filosófico y religioso.

En marzo de 2017, un equipo internacional de investigadores descubrió la evidencia de vida más antigua hasta la fecha. Fue en la región de Quebec, en Canadá, donde se encontraron restos fosilizados de microorganismos con una edad comprendida entre 3770 y 4280 millones de años. Según los datos obtenidos, estos microorganismos vivían en los alrededores de fumarolas hidrotermales marinas, que eran grietas en la corteza terrestre que permitían al agua del mar entrar en contacto con el magma proveniente del manto terrestre, lo que hacía que el agua saliera expulsada a alta temperatura, en algunos casos hasta 400 °C. Estas fumarolas existen hoy en día en las profundidades de nuestros océanos, como se pudo comprobar por primera vez en 1977 a más de 2000 metros de profundidad en el Océano Pacífico.



Ilustración 1
Fumarola hidrotermal
Champagne, en las
Marianas (Océano
Pacífico).
CRÉDITO: U. S. NATIONAL
OCEANIC/ATMOSPHERIC
ADMINISTRATION (NOAA) VIA
WIKIMEDIA COMMONS.

Este es uno de los últimos intentos donde se trata de conocer en qué momento de la historia de la Tierra y en qué condiciones la vida apareció sobre su superficie. Si llegamos a conocer los procesos que dieron lugar a la vida en la Tierra podremos llegar a conocer si es posible que haya vida en otros planetas y lunas de nuestro sistema solar o en los exoplanetas que se están descubriendo actualmente en otros sistemas solares lejanos de nuestra galaxia.

Pero, ¿cómo saben los científicos que las evidencias encontradas en las rocas de Quebec son los restos de procesos químicos debidos a la presencia de microorganismos y no a reacciones químicas que se han producido sin que se haya visto involucrado organismo vivo alguno? Para ello, los científicos deben tener claro qué características deben tener las reacciones químicas producidas por organismos vivos, cuáles son los reactivos necesarios que estos seres vivos utilizan como alimento y cuáles los productos finales que nos quedan como residuos. Y para llegar a este punto, deben tener una respuesta clara a una pregunta que ha estado sobre la mesa durante prácticamente los últimos tres mil años, ¿qué es la vida? Ya que nuestra supervivencia como especie dependía de ello, los seres

humanos podemos distinguir de una manera intuitiva si algo está vivo o no. Sin embargo, cuando se ha intentado dar una definición de la vida que pueda aplicarse tanto a la vida en la Tierra como fuera de ella no se ha llegado a un consenso, aunque los intentos han sido numerosos. En el año 2003 se celebró un congreso en Módena (Italia) donde se trató, junto con otros temas relacionados con el origen de la vida, de dar una respuesta a la pregunta qué es la vida, y se propusieron setenta y ocho respuestas diferentes. Algunas de estas respuestas eran muy parecidas entre sí y otras no tanto, pero ninguna fue elegida como la definición definitiva de vida. Como se ha comprobado, no es tarea fácil.

En que se dé una definición de lo que es la vida están muy interesados no solo los científicos involucrados en la aparición de la misma en la Tierra sino los que centran sus investigaciones en la búsqueda de vida extraterrestre. Sus investigaciones se basan en gran medida en la detección de los compuestos químicos que son componentes básicos de la vida o los que obtienen como resultado de procesos metabólicos de organismos vivos. Y solo definiendo la vida se puede saber cuáles son los compuestos químicos que debemos buscar, aquellos que nos indiquen la presencia de la misma. Otros investigadores que también están muy interesados en tener una definición clara son los científicos que dedican sus esfuerzos al desarrollo de lo que se conoce como Inteligencia Artificial. Estos científicos están interesados en las funciones y las propiedades de los sistemas vivos y cómo éstas se pueden implementar en sistemas artificiales.

La literatura está llena de definiciones de vida, y todas ellas están relacionadas con el campo de estudio del científico que la propuso. En la década de los años setenta del siglo XX, el científico y divulgador estadounidense **Carl Sagan** (1934-1996) identificó diferentes definiciones de vida, las cuales agrupó en definiciones de tipo fisiológico, metabólico, bioquímico, genético y termodinámico. Como ejemplo de una de estas definiciones, la vida es definida como la célula por un biólogo celular, como los ácidos nucleicos por un biólogo molecular, y por un científico que desarrolla su investigación dentro de la disciplina científica de la Termodinámica es definida como un sistema químico que se mantiene lejos del equilibrio termodinámico (una situación de equilibrio termodinámico representa la muerte del organismo vivo) mediante un flujo de energía entre el organismo vivo y el medio que lo rodea.

A principios de la década de los 2000, el científico afincado en Estados Unidos **Radu Popa** catalogó unas noventa definiciones diferentes de vida, desde la década de 1850 hasta nuestros días. Algunas de estas definiciones eran simples y cortas, y otras eran mucho más complejas. A todo esto, para añadir algo más de confusión, hay que sumarle que el único ejemplo de vida que conocemos es el que está presente en la Tierra, lo que quiere decir que no estamos seguros de que sea el único tipo de vida que pueda encontrarse en el universo. Aunque no tengamos una definición definitiva de qué es la vida, actualmente la más aceptada, aunque los investigadores coinciden en que no es la mejor posible, es la propuesta por el Programa de Exobiología de la NASA, *“la vida es un sistema químico automantenido capaz de experimentar evolución darwiniana”*.

Como se ha comentado anteriormente, encontrar una definición de vida no es una cuestión científica propia de nuestro tiempo, sino que es mucho más antigua. Es algo que ha estado obsesionando al hombre desde casi el mismo momento en que empezamos a hacernos preguntas sobre el mundo que nos rodea y en el que nos ha tocado vivir. Muchos filósofos antiguos distinguían entre la vida como vida orgánica, entendida así mismo como el *principio vital o vitalidad*, y la vida como la manera en que vive el hombre. Estos filósofos antiguos no separaban entre la vida biológica y la vida mental. En su obra *Acerca del Alma (De Anima)*, **Aristóteles** (384 a.C.-322 a.C.), el filósofo griego discípulo de Platón y maestro de Alejandro Magno, definió la vida como *“aquello por lo cual un ser se nutre, crece y perece por sí mismo”*. Aristóteles explicaba lo que era la vida mediante el principio del alma, que es la causa de la vida y la que coordinaba todas las capacidades del cuerpo para actuar. A su vez, la vida era el conjunto de funciones del cuerpo y su coordinación. En resumen, para Aristóteles la vida era algo que oscilaba entre un cuerpo y un alma.

Durante la Edad Media tuvieron gran influencia las ideas de Aristóteles, entre ellas su idea sobre la vida. En su *Summa Theologiae*, **Santo Tomás de Aquino** (1224-1274) define el vivir a lo que posee por sí mismo un movimiento o sus correspondientes operaciones, es decir, vida es aquello que puede moverse por sí mismo, la sustancia a la que conviene, según su naturaleza, moverse a sí misma.

La visión vitalista sobre la vida fue arrumbada durante la Edad Moderna en su mayor parte en favor de una visión mecanicista.

Con **René Descartes** (1596-1650), físico, matemático y filósofo francés considerado el padre de la filosofía moderna y de la geometría analítica, los seres vivos no tienen otras propiedades que las propiedades mecánicas. Para Descartes la vida es un conjunto complejo de procesos mecánicos. Los seres vivos se conciben como máquinas, cuya organización es la suma de instrumentos útiles.

Como una tercera vía entre estas dos concepciones de vida apareció lo que se conoce con el nombre de *Organicismo*. Esta doctrina defendía que el comportamiento de los seres vivos no puede explicarse únicamente desde un punto de vista mecanicista, aunque no abraza el vitalismo completamente. Es, pues, una posición intermedia entre el vitalismo extremo y el mecanicismo puro, en la cual subyace la idea de que el organismo no puede reducirse simplemente a una máquina. Hay algo más que hace que haya una distinción entre lo vivo y lo inerte. El máximo exponente de esta corriente filosófica fue el filósofo alemán **Immanuel Kant** (1724-1804).

La visión mecanicista se ha mantenido hasta la actualidad. En su libro *¿Qué es la vida? El aspecto físico de la célula viva* publicado en 1943, el físico austriaco **Erwin Schrödinger** (1887-1961), padre de la Mecánica Cuántica Ondulatoria y premio Nobel de Física, intenta responder a la pregunta que da título a la obra y relaciona la complejidad biológica de un organismo vivo con las leyes de la Física, concretamente con la disciplina conocida como Termodinámica.

En cuanto al vitalismo como corriente de pensamiento, este fue desechado por los científicos a principios del siglo XIX, cuando el químico alemán **Friedrich Wöhler** (1800-1882) fue capaz de sintetizar la urea en un laboratorio en 1828. Demostró que las sustancias orgánicas, las cuales se denominaban así ya que se creía que solo podían ser sintetizadas por organismos vivos, podían ser sintetizadas artificialmente.



Ilustración 2
Retrato de René Descartes
realizado por Frans Hals
(sobre 1650-1700).
CRÉDITO: FRANS HALS VIA
WIKIMEDIA COMMONS.



Ilustración 3
Conde de Buffon.
CRÉDITO: WIKIMEDIA
COMMONS.

En el período comprendido entre finales del siglo XVIII y principios del XX surgieron diferentes teorías sobre el origen de la vida en la Tierra. En estas teorías se utilizaban conceptos de vida, aunque en ninguna de ellas se daba una definición explícita de la misma. El origen de la vida se incluía dentro de teorías completas sobre la evolución de la vida en la Tierra, teorías que demostraban que se tenía una concepción compleja de lo que era la vida. El matemático, cosmólogo, biólogo, botánico, naturalista y escritor francés **Georges Louis Leclerc**, conde de Buffon (1707-1788), consideraba la vida como materia organizada. En su obra *Histoire Naturelle* de 1749 dio una teoría completa de la misma basada en el concepto de moléculas orgánicas, las cuales para Buffon eran entidades microscópicas vivas que constituían todos los organismos en la naturaleza (claro ejemplo de que su visión se encuadraba dentro de la corriente del vitalismo, caída en desgracia apenas un siglo después, como hemos visto en el párrafo anterior). Las plantas toman estas moléculas orgánicas del suelo, los animales las toman de las plantas y cuando los organismos mueren

vuelven al suelo. Según Buffon estas moléculas orgánicas transmitían el molde interior que generaba la organización de cada especie.

Al final de su vida introduce el concepto de *Fijismo* (1778), y proclama que unas especies no cambian en otras, sino que se mantienen desde el principio. En los primeros tiempos de la Tierra, cuando la temperatura era suficientemente fría, las moléculas orgánicas, mediante generaciones espontáneas, produjeron cada una de las especies que conocemos. Para Buffon, la vida era una propiedad de la materia.

Contemporáneo suyo, el naturalista francés **Jean-Baptiste Lamarck** (1744-1829) fue el primero en formular la primera teoría de la evolución biológica. Además, acuñó el término *biología* y fue el fundador de la paleontología de los invertebrados. En un

principio, Lamarck adoptó el fijismo de Buffon, el cual abandonó en 1802, cuando comenzó a desarrollar una nueva teoría basada en procesos evolutivos, teoría que se llamó posteriormente *Transformismo*. Definió la vida como *“un orden y un estado de cosas en las partes de cada cuerpo que la posee. La vida permite o hace posible el desempeño del movimiento orgánico, y, en tanto y cuanto subsista, contrarresta efectivamente a la muerte”*.

Para Lamarck, la primera característica de la materia viva era la presencia de un *clímax vital*, que era una fuerza que mantenía a las moléculas separadas y que era causado por el calor y la electricidad. La vida se generaba mediante un proceso espontáneo durante el cual la materia, que había adquirido un aspecto gelatinoso, se transformaba en los pólipos más simples. Estos pólipos, posteriormente, fueron evolucionando hasta transformarse en seres más complejos. Propuso su teoría en su libro *Filosofía Zoológica*, publicado en 1809, y sería la primera teoría sobre la evolución biológica de los organismos vivos, conocida como *lamarckismo*. En ella, Lamarck propuso que la vida evolucionaba *“por tanteos y sucesivamente”*, y que las especies trataban de adecuarse al medioambiente que las rodeaba, cambiando poco a poco *“la consistencia y las proporciones de sus partes, de su forma, sus facultades y hasta su misma organización”*.

El mecanismo propuesto por Lamarck, mediante el cual las especies iban evolucionando, lo denominó *“herencia de los caracteres adquiridos”*. Con este nombre se refirió a la supuesta capacidad que presentan los organismos vivos de poder trasladar los caracteres adquiridos a lo largo de su vida a sus descendientes mediante la herencia, la cual no sería ni directa ni individual, sino que afectaría a todos los organismos del grupo sometido a parecidas circunstancias ambientales durante largo tiempo. Aunque a principios del siglo XX se desechó esta teoría como errónea, actualmente son algunas las voces

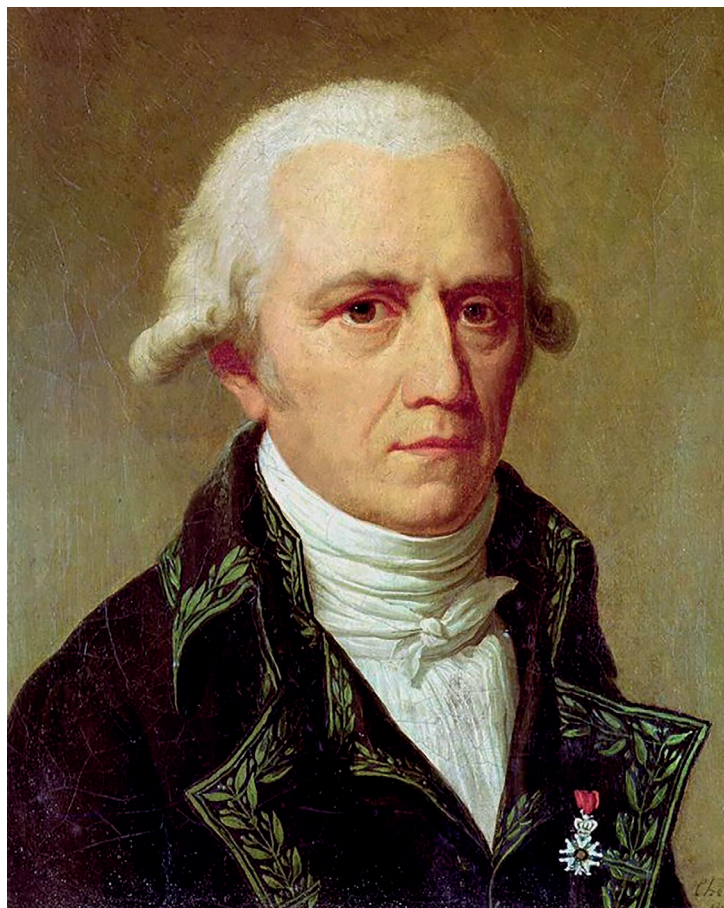


Ilustración 4
Retrato de Lamarck
realizado por Charles
Thévenin (1802-1803).
CRÉDITO: CHARLES THÉVENIN
VIA WIKIMEDIA COMMONS.



Ilustración 5

Charles Darwin a la edad de 51 años.

CRÉDITO: WIKIMEDIA
COMMONS.

que abogan por su recuperación mediante una nueva reformulación de la misma. Y esto ha sido gracias al desarrollo de la rama de la ciencia conocida como Epigenética. El término fue introducido por el embriólogo escocés **Conrad Hal Waddington** (1905-1975) en 1942. Existen numerosos estudios experimentales que reflejan que las moléculas de ADN, base de la herencia genética, pueden sufrir modificaciones químicas debido a las interacciones con el medio ambiente que rodea a los individuos, y estas modificaciones hacen que estos individuos modifiquen sus características fisiológicas y conductuales. La Epigenética afirma que estas modificaciones pueden transmitirse a los descendientes, siendo considerado este mecanismo el puente de unión con el modelo de herencia lamarckiana.

Por su parte, el naturalista inglés **Charles Robert Darwin** (1809-1882), considerado como el padre de la teoría de la evolución biológica de las especies, tampoco dio una definición de vida en su famoso libro *El origen de las especies por medio de la selección natural, o la preservación de las razas preferidas en la lucha por la vida*, publicado en 1859. Sin embargo, sí dio una definición de la misma en una carta dirigida al botánico y explorador inglés **Joseph Dalton Hooker** (1817-1911), en la que Darwin describió un hipotético fenómeno primordial mediante el cual, y de forma espontánea, amoníaco y sales de ácido fosfórico, presentes en una charca de agua templada y sometidas a la acción de la luz, el calor y la electricidad, dan lugar a la formación de un compuesto proteico que es capaz de sufrir cambios posteriores más complejos. Esta materia primigenia no estaría presente actualmente sobre la Tierra, ya que sería devorada o absorbida por los organismos vivos. Para Darwin, la vida es un proceso irreversible y un evento que no puede ser repetido, ya que la vida cambia las condiciones en cada paso del proceso.

Simultáneamente en el tiempo, el químico y bacteriólogo francés **Louis Pasteur** (1822-1895) defendió la idea de que existía una barrera entre la materia inerte y la viva. En la década de

1860 demostró mediante experimentos que la generación espontánea no existía (fue durante la realización de estos experimentos cuando introdujo la pasteurización, proceso que garantiza la seguridad de algunos de los alimentos que consumimos hoy en día), lo que chocaba frontalmente con la idea propuesta por Darwin en su famosa carta. Los experimentos de Pasteur hicieron que la idea de que la vida se generara de forma espontánea fuera abandonada por la comunidad científica, al menos de momento. Pasteur demostró que no se generaban de forma espontánea microorganismos en medios de los cuales se habían eliminado previamente mediante la pasteurización. Pero estos experimentos no nos dicen nada de qué sucedió en la Tierra primigenia para que surgieran los primeros organismos vivos.

Thomas Henry Huxley (1825-1895), biólogo inglés y defensor apasionado de la teoría darwinista de la evolución, identificó la vida en su libro *On the Physical Basis of Life* publicado en 1868 con su material constitutivo, al que denominó protoplasma. Describió el enlace que se producía entre constituyentes químicos elementales y materia orgánica compleja presentes en la célula y afirmó que la vida reside en las propiedades de este protoplasma. Tan apasionada fue su defensa de la teoría darwinista de la evolución, que Thomas Huxley ha pasado a la historia con el sobrenombre de *Bulldog de Darwin*. En el famoso debate celebrado en 1860 en la Universidad de Oxford sobre el origen de las especies, del cual no se conserva transcripción alguna, se dice que en un momento en el cual el debate subió de tono, el obispo de esta ciudad, Samuel Wilberforce, realizó la famosa pregunta de si *"Huxley descendía del mono por parte de madre o de padre"*. Lógicamente, la respuesta de Huxley no se hizo esperar, y se dice que le respondió con la también famosa frase *"prefiero descender de un mono a descender de un hombre muy dotado por la naturaleza que tiene una gran capacidad de influencia, pero aun así usa esta capacidad de influencia con el mero propósito de intentar ridiculizar una discusión científica seria"*.

Las concepciones de la vida de Darwin y Huxley permitieron el desarrollo de teorías basadas en la abiogénesis evolutiva, las cuales conciben una evolución progresiva de la materia desde compuestos inorgánicos a orgánicos y finalmente a un organismo vivo, lo que constituye el primer paso hacia una evolución global de los sistemas vivos. Surgieron muchas hipótesis a finales del siglo XIX y principios del XX formuladas por diferentes biólogos y químicos, pero las hipótesis más importantes aparecieron en la década de 1920, y se



Ilustración 6

Alexander Oparin en
1938.

CRÉDITO: PAVEL TROSHKIN VIA
WIKIMEDIA COMMONS.



Ilustración 7

B. S. Haldane en Oxford,
1914.

CRÉDITO: WIKIMEDIA
COMMONS.

deben al biólogo y bioquímico soviético Aleksandr Ivánovich Oparin (1894-1980) y al genetista y biólogo evolutivo inglés John Burdon Sanderson Haldane (1892-1964). Oparin y Haldane desarrollaron de forma independiente los primeros escenarios sobre la abiogénesis evolutiva y se encargaron de erradicar definitivamente el vitalismo del pensamiento científico.

Oparin publicó su trabajo en un libro en ruso titulado *El origen de la vida* en 1924, donde describió la evolución de la materia desde los minerales hasta la materia orgánica y de ahí a una forma de vida primitiva. Proclamó que en la atmósfera y los océanos de la Tierra primitiva la materia orgánica se hizo más y más compleja, ya que se dieron unas condiciones que dieron lugar a la formación de un gel en el seno de una disolución coloidal. De este gel se formó un coágulo que precipitó, lo que consideró el estadio más importante en el proceso espontáneo de generación de la vida. En una versión publicada en 1936 introdujo la noción de coacervado, descrito anteriormente de forma experimental por el químico holandés Burgenberg de Jong en 1932. Los coacervados son pequeñas gotas formadas por sustancias proteínicas que se van agrupando unas con otras, y los

cuales flotan en al agua. Estos coacervados absorben de la disolución diferentes sustancias orgánicas y van creciendo, aumentando de peso y volumen. La estructura interna de estos coacervados se fue modificando y perfeccionando en el transcurso de millones de años, y las más perfectas empezaron a multiplicarse por división, dando lugar a los seres vivos más sencillos.

Haldane publicó en el año 1929 el libro *El origen de la vida*, en el cual planteaba un escenario similar, pero con algunas particularidades sobre la vida primitiva. Utilizó nociones modernas de la biología, como los genes, e inventó el término *sopa prebiótica* para designar al océano primitivo, que en ese tiempo estaría repleto de moléculas orgánicas tanto simples como más complejas formadas de manera natural. Afirmó que las reacciones químicas que se producían entre estas moléculas llegaron a producir organismos parecidos a los virus. La selección natural habría favorecido a aquellos organismos que se hubieran independizado con mayor eficacia de su ambiente, dando lugar a seres progresivamente más complejos.

