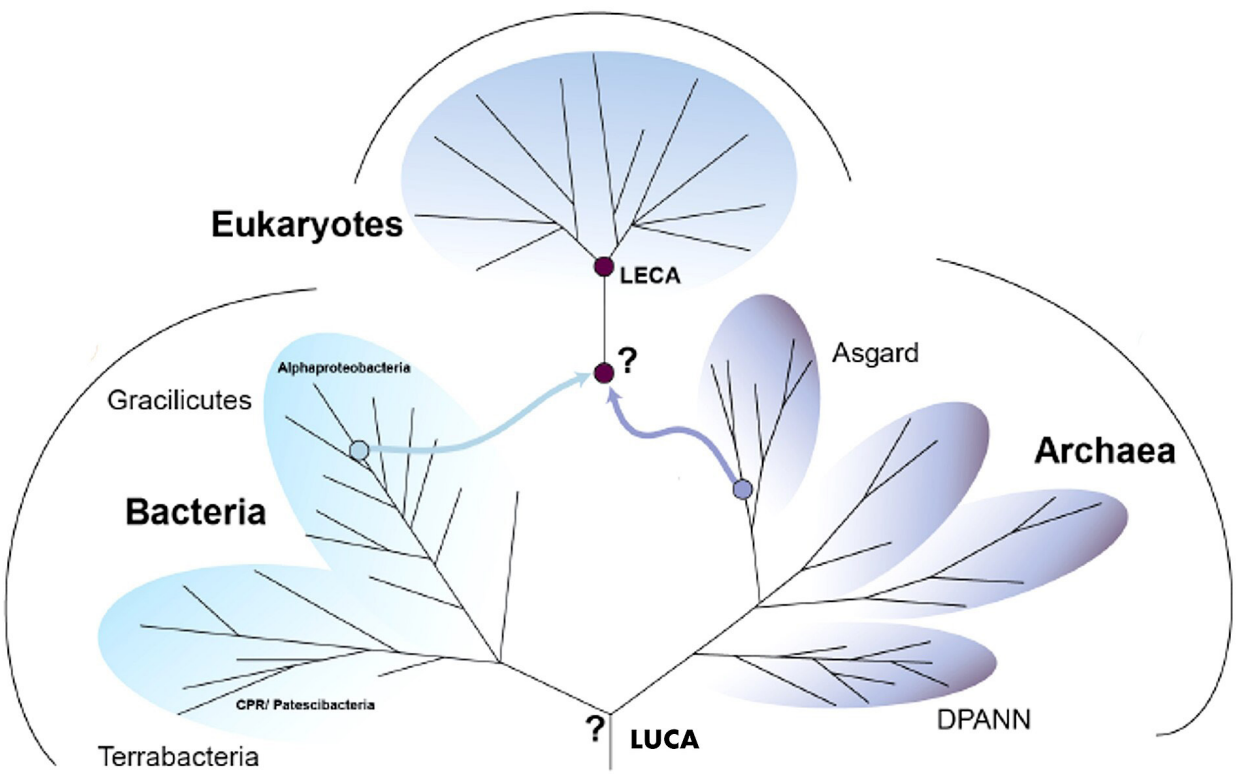
La vida
a hombros de gigantes



Iker
Irisarri

En 1675, Isaac Newton escribía a su colega Robert Hooke: «si he logrado ver más lejos, ha sido porque he subido a hombros de gigantes», indicando que sus avances científicos habían sido posibles gracias al trabajo de los científicos que lo habían precedido. Esto mismo es aplicable a la larga historia de la vida en la Tierra. Todas las especies que habitamos actualmente el planeta nos sustentamos sobre los hombros de nuestros ancestros, hoy extintos, formando una larga historia de casi 4.000 millones de años. Te propongo un viaje a través de la ciencia para explicar cómo sucedió todo esto.



La eucariogénsis se refiere al origen de los eucariotas a partir de la simbiosis entre una arquea (probablemente proveniente del grupo Asgard) y una alfaproteobacteria que evolucionaría a convertirse en la mitocondria de la célula eucariota. El primer eucariota se conoce como LUCA, de sus siglas en inglés para *Last Eukaryotic Common Ancestor*. / Casey McGrath



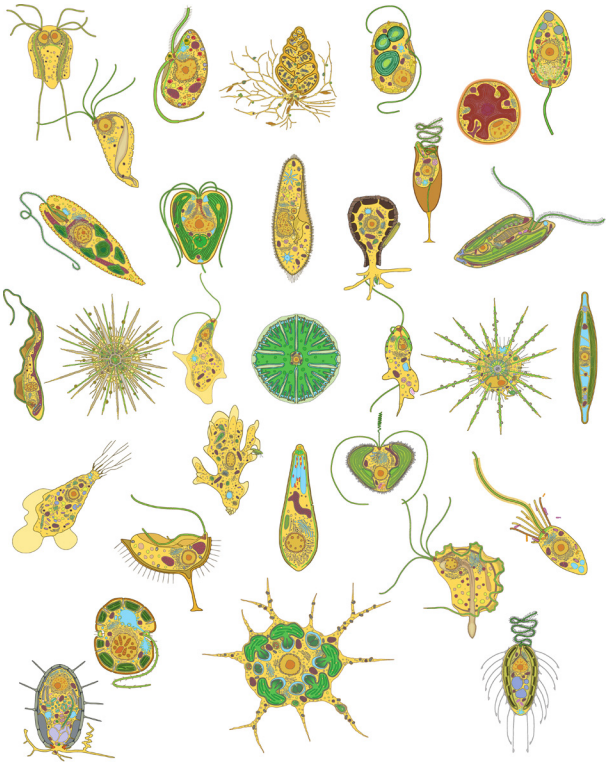
Origen de la vida

Comprender el origen de la vida a partir de la materia no viva es una de las incógnitas más fascinantes de la ciencia. Para ello, debemos retrotraernos a un planeta Tierra completamente diferente al actual, cubierto por océanos calientes, con una intensa actividad volcánica y una atmósfera sin oxígeno. En él, moléculas simples pudieron reaccionar entre sí y formar compuestos orgánicos cada vez más complejos. En 1953, Miller y Urey demostraron que bajo condiciones similares a las de esa Tierra primitiva, los aminoácidos, componentes básicos de las proteínas, podrían generarse de forma espontánea. Otras investigaciones han estudiado la capacidad de autoorganización de la materia para formar estructuras complejas necesarias para la vida, como las membranas de nuestras células. ¿Es esto suficiente para hablar de vida? Pues todavía no.

La vida se suele definir como «un sistema químico autosostenido capaz de evolución darwiniana». Con esto queremos decir que necesita moléculas que puedan facilitar reacciones químicas y que puedan almacenar y transmitir información. El ácido ribonucleico (ARN) reúne esta doble capacidad en una única molécula y es por ello que se piensa que podría haber estado en el origen de la vida como la conocemos actualmente. Una de las hipótesis más aceptadas propone un mundo basado en el ARN, gracias precisamente a la capacidad de esta molécula de almacenar información genética y pasarla a las próximas generaciones. Durante esta transmisión ocurren pequeños errores (mutaciones) que generan variaciones. Estas pueden ser, según el momento y el lugar, más ventajosas que la forma original y por

Una de las formaciones de estromatolitos más famosas se encuentra en Shark Bay, Australia. Los estromatolitos son unas estructuras minerales formadas por la acción de comunidades bacterianas (biopelículas). Se consideran descendientes de unos de los primeros ecosistemas de la Tierra. / Paul Harrison

Bacterias y arqueas fueron y siguen siendo las protagonistas principales de la historia de la Vida en la Tierra. Considerando solo las especies actuales, se estima que existen aproximadamente un billón de especies bacterianas con respecto a los 8.7 millones de eucariotas, es decir, las bacterias representan más del 99%



Un collage de diagramas celulares que ilustran la diversidad general de los protistas. / © 2023 Keeling, Eglit

tanto ser favorecidas por la selección natural de la evolución darwiniana. En un paso posterior, suponemos que aparecieron los ácidos desoxirribonucleicos de doble cadena (ADN), que son más estables y se pudieron especializar en conservar la información, mientras que el ARN se especializó en su transmisión para la posterior síntesis de proteínas, que catalizan la mayoría de reacciones químicas en los organismos. Pensamos que esto tuvo que suceder en protocélulas capaces de contener tanto el sistema de replicación de información genética como metabolismos mínimos. Se estableció así un flujo de información en células mínimas que podían mantenerse a sí mismas y multiplicarse. Por fin aparecieron los primeros organismos vivos.

Los procariotas: los auténticos dueños del planeta

Durante aproximadamente tres mil millones de años, todos los seres vivos consistieron en una única célula, eran unicelulares. Estamos hablando de bacterias y arqueas, que científicamente conocemos como procariotas. El origen de los procariotas se suele trazar en un ancestro común universal para todas las formas de vida (llamado LUCA por sus siglas en inglés: Last Universal Common Ancestor). Durante décadas hemos tratado de desenmascarar la naturaleza de LUCA, cómo estaba hecho y cuáles eran sus capacidades, pero lo cierto es que en este pasado remoto las incógnitas son más que las certezas. Por ejemplo, desconocemos dónde podría situarse LUCA entre bacterias

y arqueas, lo que los biólogos evolutivos llamamos «la raíz del árbol de la vida». Lo que sí está claro es que bacterias y arqueas fueron y siguen siendo las protagonistas principales de la historia de la Vida en la Tierra. Por poner un ejemplo, la fotosíntesis, la capacidad de producir energía utilizando el sol, evolucionó en un grupo de procariotas conocido como cianobacterias. Este hecho dio lugar a la liberación de una gran cantidad de oxígeno a la atmósfera como producto secundario de la fotosíntesis, generando la atmósfera que permite respirar a animales como nosotros y por tanto cambiando para siempre la historia de nuestro planeta.

Los procariotas han sido y siguen siendo un importante agente transformador en la Tierra. Hoy día, podemos encontrarlos en océanos, suelos, volcanes, glaciares y también dentro de todos los seres vivos (¿te suena la microbiota?). Gracias a ellos funcionan procesos esenciales como el reciclaje de nutrientes, la descomposición de materia orgánica y la fijación del nitrógeno, crucial para la agricultura. Existen bacterias de todo tipo y dominan la diversidad biológica. Piensa que, considerando solo las especies actuales, se estima que existen aproximadamente un billón de especies bacterianas con respecto a los 8.7 millones de eucariotas, es decir, las bacterias representan más del 99% de todas las especies actuales.

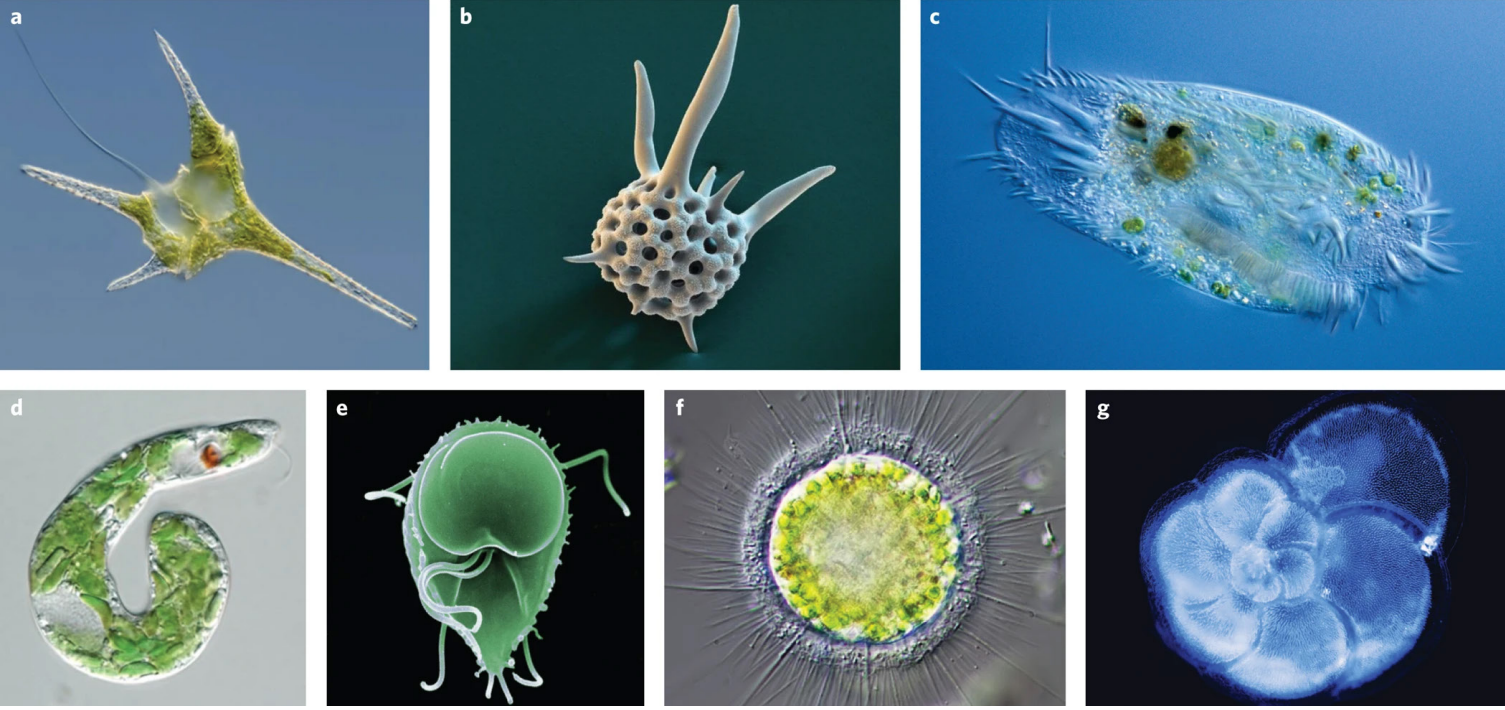
Microorganismos del suelo vistos al microscopio. / © Phoebe.



En la década de 1970, análisis moleculares revelaron que las arqueas, que a primera vista pueden parecer bacterias, forman en realidad un linaje independiente de procariotas. Las arqueas son famosas por poder vivir en lugares donde nadie más puede hacerlo: aguas hidrotermales, lagos hipersalinos o ambientes sin oxígeno, y por eso se las suele presentar como «extremófilas». Sin embargo, hoy sabemos que también viven en océanos, suelos e incluso dentro de otros seres vivos, donde desarrollan funciones cruciales para toda la vida del planeta.

Seguramente las diferencias moleculares entre bacterias y arqueas te parezcan pequeñas, pero ¿qué te sugiere el hecho de que algunos de sus mecanismos celulares sean más parecidos a las células complejas llamadas eucariotas que a las bacterias? Exacto: los eucariotas se originaron a partir de una antigua arquea, hoy extinta, que estableció relaciones simbióticas con bacterias de forma estable, formando lo que conocemos como células eucariotas.

Diferentes linajes evolutivos como animales, plantas y hongos, pero también otros menos conocidos como las algas pardas, llegaron por separado a soluciones similares: células que cooperaban, se comunicaban y se repartían tareas para formar organismos complejos multicelulares



Algunos ejemplos de la vasta diversidad de eucariotas. Las fotos indican dinoflagelados (a), radiolarios (b), ciliados (c), euglénidos (d), diplomonádidos (e), centrohélidos (f), y foraminíferos (g). Crédito: Wim van Egmond/Science Photo Library

La revolución de la eucariogénesis

Las células eucariotas, a diferencia de las procariotas, poseen estructuras internas especializadas entre las que se encuentra el núcleo que envuelve el ADN o genoma. Esta compartimentalización interna dota a las eucariotas de mayor complejidad celular. Los científicos estamos todavía discutiendo los detalles de cómo surgieron los eucariotas, para lo que existen diversas teorías. Todas coinciden es en que la célula eucariota surgió de la simbiosis entre una arquea y al menos una bacteria. La simbiosis es el establecimiento de relaciones físicas estables entre dos o más organismos, que a veces, como en este caso, pueden fusionarse para generar un único organismo más complejo. La importancia de la simbiosis en la evolución de los eucariotas fue ya propuesta por Lynn Margulis, explicando así el origen de la mitocondria y el cloroplasto, La mitocondria es el orgánulo de la célula eucariota especializado en producir energía y probablemente se originó a partir de la simbiosis con una bacteria del grupo de las alfaproteobacterias. El origen de la célula eucariota no fue únicamente un hito evolutivo, sino que supuso una auténtica revolución biológica al permitir la aparición de organismos más complejos, como nosotros mismos, impensables para los procariotas.

La gran diversificación de los eucariotas

La innovación de la célula eucariota permitió una gran diversificación de formas y funciones durante sus aproximadamente dos mil millones de años de evolución. La mayor parte de los eucariotas son, de nuevo, unicelulares y se conocen generalmente como protistas. Quizás conozcas los paramecios o el protista causante de la malaria (*Plasmodium*) y seguro que has comido alga nori en tu sushi. Otros protistas son más desconocidos, pero desempeñan papeles esenciales en los ecosistemas. Algunos nadan en el agua gracias a sus flagelos, otros viven en el suelo y cazan presas con expansiones celulares como las amebas, y otros realizan la fotosíntesis en el mar y contribuyen a la li-



beración de oxígeno a la atmósfera, entre las muchísimas especializaciones que surgieron a raíz de la aparición de la célula eucariota.

Espera... ¿no has dicho que la fotosíntesis era cosa de algunas bacterias? Exacto, pero las algas y las plantas, que son eucariotas, también fotosintetizan. De hecho, la adquisición de esta capacidad es una historia tan fascinante como compleja. Los eucariotas adquirieron la capacidad de fotosintetizar gracias a la simbiosis de un protista (una célula eucariota) con cianobacterias, que ya venían realizando la fotosíntesis desde tiempo atrás. Un largo proceso transformó a estas cianobacteria simbiontes en el orgánulo de las células especializado en la fotosíntesis, los cloroplastos. El origen de los cloroplastos abrió a su vez un nuevo capítulo en la evolución de los eucariotas, ya que, de repente, éstos eran capaces de alimentarse y crecer con poco más que un poco de luz y agua.

Tener cloroplastos llegó a ser tan ventajoso que otros grupos de eucariotas los hicieron suyos mediante simbiosis. Esta vez las simbiosis no ocurrieron con cianobacterias sino con protistas (eucariotas) fotosintéticos. Nuevamente, el beneficio mutuo hizo que la interdependencia entre hospedador y simbionte aumentara hasta forjarse una relación estable. Si lo piensas bien, estamos hablando de una célula eucariota, que contiene otra célula eucariota (un alga), que contiene una célula procariota (el cloroplasto). Tal es la ventaja evolutiva de poder fotosintentizar, que este proceso de simbiosis con algas eucariotas fotosintéticas ocurrió probablemente hasta en siete ocasiones de forma independiente a lo largo de la evolución. Esto ha generado una gran diversidad de células eucariotas que engloban otras células eucariotas a modo de auténticas matrioskas fotosintéticas. Este hecho nos recuerda que el éxito evolutivo no viene siempre dictado por la supervivencia del más fuerte, sino que las asociaciones y la cooperación entre organismos pueden ser más beneficiosas.

La ventaja evolutiva de asociarse para realizar la fotosíntesis nos recuerda que el éxito evolutivo no viene siempre dictado por la supervivencia del más fuerte, sino que la cooperación entre organismos pueden ser más beneficiosas

Los organismos multicelulares

Entre la vasta diversidad de formas y funciones que evolucionaron a partir de los primeros eucariotas encontramos a los organismos multicelulares. Probablemente, la multicelularidad comenzó de forma sencilla. Primero, las células hijas permanecerían unidas después de dividirse, formando colonias, que podrían defenderse



De izquierda a derecha: fósil de un amonite, un molusco marino extinto / Vieriu. Dibujo de Agostino Scilla de un coral fosilizado que utilizó Gould para ilustrar la metáfora de Darwin del "Coral de la Vida" (Gould 2002).

mejor de depredadores, moverse de forma más eficiente o aprovechar mejor los nutrientes. La selección natural podría haber favorecido estas asociaciones, dando lugar a una segunda fase donde las células que formaban las colonias pudieron especializarse en distintas funciones como el movimiento, la alimentación o la reproducción, dando lugar a organismos multicelulares más eficientes. Como siempre, cuando algo resulta ventajoso en la evolución, tiende a aparecer muchas veces, y la multicelularidad no es excepción. Diferentes linajes evolutivos como animales, plantas y hongos, pero también otros menos conocidos como las algas pardas, llegaron por separado a soluciones similares: células que cooperaban, se comunicaban y se repartían tareas para formar organismos complejos multicelulares.

El "coral de la vida": una historia de ramas y extinciones

Al hablar de biodiversidad típicamente pensamos en estos organismos multicelulares, pero ya te habrás dado cuenta que plantas, animales y hongos son apenas tres pequeños linajes dentro de un inmenso universo de biodiversidad microscópica. El grueso de la biodiversidad es eminentemente unicelular y sobre todo procariótica. ¿Te resulta sorprendente? Pues aún hay más.

El «Coral de la Vida» es una imagen poderosa que nos recuerda algo fundamental: la inmensa mayoría de la historia de la vida está formada por organismos que ya no existen, los seres vivos actuales son el resultado de una cadena ininterrumpida de ancestros que los conecta con LUCA

Suscríbete

mncn 250 1771 2021 museo nacional de ciencias naturales

Casi todos los organismos multicelulares tienen como máximo 600 millones de años (un octavo de la historia total de la Vida) y de estos, la mayoría de especies ya están extintas

Casi todos los organismos multicelulares tienen como máximo 600 millones de años (un octavo de la historia total de la Vida) y de estos, la mayoría de especies ya están extintas. Aquí entrarían los dinosaurios o los trilobites que habrás visto en los museos de historia natural. Es fascinante pensar en todos los organismos extraños y maravilloso que han poblado nuestro planeta antes que nosotros: bosques carboníferos de helechos arborescentes donde volaban libélulas gigantes, escorpiones marinos de más de dos metros, o ciénagas donde los primeros vertebrados terrestres iniciaban el camino hacia la tierra firme. Miles de especies que una vez dominaron los ecosistemas terrestres pero que después desaparecieron. Y es que la biodiversidad actual sobre el planeta es solo una instantánea dentro de la larga historia de la vida en la Tierra.

Al pensar la evolución, necesitamos considerar números de especies por encima del billón y periodos de tiempo de miles de millones de años, números para los que nuestro cerebro no está entrenado. Por ello, nos resultan útiles las metáforas. Quizás la más completa y hermosa sea el «Coral de la Vida» propuesto por Charles Darwin, que junto con Alfred Wallace, es el padre de la teoría de la evolución. En este Coral de la Vida metafórico, las especies que habitan hoy la Tierra ocuparían las puntas más externas, la superficie exterior del coral donde están los pólipos vivos de la colonia, mientras que el gran esqueleto ramificado de este ser vivo representaría a los ancestros que han dado lugar a las especies presentes en sus extremos. En el caso de los corales, los pólipos ancestrales muertos de los que solo queda su esqueleto soportan literalmente a los pólipos vivos. De forma paralela, los ancestros evolutivos representados por el esqueleto interno serían los que habrían permitido la evolución de las especies actuales, aquéllas que ocupamos los ápices de las ramas de este coral metafórico. El «Coral de la Vida» es una imagen poderosa que nos recuerda algo fundamental: la inmensa mayoría de la historia de la vida está formada por organismos que ya no existen. Nosotros solo vemos los pólipos vivos en el exterior, pero sus troncos y raíces forman un entramado complejo que hunde su origen en miles de millones de años de evolución. Siempre viene bien recordar que la evolución es un proceso ramificado y no lineal y que no hay jerarquías entre seres más simples en la base y más complejos en la cima, sino que se trata de un proceso que carece de dirección y que genera patrones ramificados de diversificación, desde la base hasta todas y cada una de las puntas en sus extremos, formando una compleja e inmensa red de relaciones ancestro-descendiente. Cada ser vivo actual es el resultado de una cadena ininterrumpida que lo conecta en última instancia con LUCA, el primer ancestro común universal. Por eso, podemos decir que en la gran historia de la evolución, nosotros y todas las especies que habitan el planeta también vamos subidos a hombros de gigantes, esos ancestros que nos precedieron y nos conectan con el ancestro común universal. Es una visión que nos llena de humidad y que debería recordarnos nuestra responsabilidad con respecto a la historia que nos precede y el resto de pólipos que como nosotros habitan la superficie de este gran «Coral de la Vida» ●