

## **El árbol de la vida y LUCA**

**¿Está relacionada toda la vida en la Tierra?  
¿Y quién es LUCA?**



**Anja Spang**

### ¿Qué es el árbol de la vida? ¿Y quién es LUCA?

#### Contexto

Toda la vida celular en la Tierra está relacionada por descendencia común, es decir, ha evolucionado a partir de un último ancestro común compartido. En este marco temático, aprenderá qué tipos principales de vida celular se pueden encontrar en la Tierra, el cómo se relacionan todas estas formas de vida entre sí, el cómo ha evolucionado la vida con el tiempo, quien fue el Último Ancestro Común Universal (LUCA), y el cómo las células eucariotas se originaron a partir de células procariotas superficialmente de apariencia más simple. Espero que disfrute de este viaje a los orígenes profundos de la vida celular y nuestros ancestros microbianos.

#### La microbiología y el contexto social

*La microbiología:* organismos vivos y células; visión general de las formas de vida celular en la Tierra; el último ancestro universal en común de toda la vida; el origen de la complejidad celular y la vida eucariota que nos incluye a los humanos. Cuestiones de sostenibilidad: futuro de la vida, predecir la evolución, evolución, diversificación y extinción en la era del cambio climático.

#### El Árbol de la Vida (TOL): La Microbiología

**1. ¿Qué vida celular hay?** La vida celular en nuestro planeta es extremadamente diversa y está compuesta por muchos organismos diferentes, los cuales todos están relacionados entre sí y remontan su linaje a un ancestro común compartido (Cuadro 1). En términos generales, estos organismos se pueden dividir en tres grupos principales denominados **dominios**: Archaea, Bacteria y Eukarya (también Eukaryota o **eucariotas**).

¿Quizás hayas oído hablar antes de las bacterias y los eucariotas? ¿Pero sabes quiénes son las Archaea? Durante mucho tiempo se pensó que existen células complejas, como las de los eucariotas (ver Sección 4), así como células más simples sin **núcleo**, las **procariotas**, que eran sinónimo de Bacteria. En gran medida, esto se debió a la forma en que los científicos estudiaban las células: las observaban en el microscopio y vio dos tipos de células muy distintos.

Sin embargo, durante el último medio siglo, nuestras herramientas para estudiar las células han ido mejorando rápidamente, lo que ha cambiado nuestra capacidad para distinguir entre células que superficialmente se parecen. En particular, Carl Woese fue pionero en el uso de información genética (por ejemplo, el **ARN ribosómico**) para estudiar la vida celular y demostró que no todas las células de apariencia más simple son realmente bacterias. En cambio, esas células parecían estar compuestas por dos tipos distintos de grupos de organismos: las anteriormente conocidas Bacterias y las llamadas Archaea (llamadas así por la palabra griega 'archaía', que significa antigua). Si bien al principio la comunidad científica se mostró escéptica ante este hallazgo, investigaciones posteriores han confirmado que las Archaea en realidad forman un dominio de vida separado además de las bacterias y los eucariotas: tienen sus propias características únicas, características como las de las bacterias, así como características en común con las bacterias. eucariotas con exclusión de las bacterias. ¿Cómo es esto posible? Podemos aprender sobre estos tipos de células fundamentales estudiando sus relaciones evolutivas.

**2. ¿Qué es el árbol de la vida y cómo cambió nuestra percepción de él con el tiempo?** Quizás al escuchar el término “árbol de la vida”, ¿recuerdas la película del mismo nombre de Terrence Malick con Brad Pitt como actor principal? ¿O quizás pienses en el árbol de la vida como un símbolo en el folclore y la ficción o en el contexto de la mitología, la religión o la filosofía? De hecho, el “árbol de la vida” ha sido una metáfora común y útil en varias culturas mucho antes de que se introdujera el

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

calendario gregoriano.

El concepto del árbol de la vida (TOL) también ha demostrado ser un marco poderoso para representar las relaciones de la vida celular a lo largo del tiempo y se introdujo en la biología aproximadamente en la época de Charles Darwin publicó su teoría de la evolución en “Sobre el origen de las especies” (1859) y sugirió que todos los organismos derivan de un ancestro común.

Los primeros TOL publicados enfatizaron la diversidad y la relación de la vida multicelular y se basaron predominantemente en características **morfológicas**. Sin embargo, el descubrimiento del ADN como molécula de la herencia, así como el hallazgo de que toda la vida celular comparte un **ribosoma** responsable de la síntesis de proteínas, ha proporcionado datos importantes que permiten reconstruir TOL mucho más precisos y menos sesgados. En lugar de depender de la **morfología**, los científicos ahora pueden comparar el ARN ribosómico o los genes con información hereditaria (es decir, genes que se heredan de padres a hijos) en toda la vida celular.

Esto permite reconstruir los llamados **árboles filogenéticos**, cuyas puntas representan organismos existentes (actualmente vivos), mientras que los distintos nodos representan a los ancestros. Las ramas (de diferente longitud) que conectan los distintos nodos y puntas indican la cantidad de cambio que separa a los ancestros de los organismos existentes. Es precisamente esa información genética la que permitió a Carl Woese separar a los procariotas en dos grupos distintos, Archaea y Bacteria (ver Sección 1).

La revolución de la secuenciación, iniciada a finales del siglo XX y principios del XXI, permitió descifrar el material genético (ADN) tanto de eucariotas, Archaea como Bacteria. Si bien originalmente sólo era posible secuenciar **genomas** de organismos cultivados, que representan sólo una pequeña fracción de todos los organismos, el desarrollo de mejores herramientas no sólo ha hecho posible, sino una práctica común, obtener genomas de todos los organismos presentes en una muestra tomada de cualquier entorno de la Tierra (por ejemplo, un gramo de suelo), sin necesidad de cultivarlos. De esta manera, los investigadores pudieron descubrir una gran diversidad de arqueas, bacterias y eucariotas unicelulares hasta ahora desconocidos que no pueden cultivarse fácilmente en el laboratorio ni identificarse visualmente (probablemente hasta ahora se ha cultivado mucho menos del 20% de los procariotas).

La reconstrucción de un nuevo TOL basado en esta gran cantidad de datos de secuenciación ha llevado a nuevos conocimientos fundamentales sobre la biodiversidad de la vida: en primer lugar, esto ha revelado que las arqueas y las bacterias son extremadamente diversas y forman muchas más ramas en el árbol de la vida que los eucariotas. Además, en línea con otros datos, ha revelado que los eucariotas probablemente derivan de un evento **simbiótico** entre una arquea y una bacteria (ver Sección 4), lo que sugiere que una arquea y una rama bacteriana se han fusionado para formar una nueva raíz en la base de diversificación eucariota (Cuadro 1).

Si bien esto contradice en sentido estricto el concepto TOL que sugiere que toda la vida ha evolucionado verticalmente a partir de un ancestro común compartido, el TOL sigue siendo un marco poderoso para explicar la historia evolutiva de la vida. Pero es un árbol que recuerda más a una red que permite que las ramas se fusionen o que ciertos caracteres se muevan entre ramas a través de intercambios genéticos, la llamada **transferencia horizontal de genes**. Como resultado de la fusión de ramas en la base de los orígenes eucariotas, algunos investigadores han sugerido referirse a Archaea y Bacteria como **dominios primarios** de vida que descienden de un ancestro común (LUCA, ver la siguiente sección), así como un **dominio secundario** que incluye todos eucariotas.

**3. ¿Quién fue el último ancestro común universal?** Todos los organismos celulares conocidos en la Tierra, es decir, todas las diversas especies de Bacteria y Archaea, así como los eucariotas derivados de las primeras, descienden en última instancia de un solo ancestro o de una población de células ancestrales, el **Último Ancestro Común Universal** denominado **LUCA**. De hecho, la reconstrucción del **TOL** basada en información genética como la introducida por Carl Woese (ver Sección 2) atestigua la existencia de LUCA, que corresponde al nodo más profundo de este árbol.

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

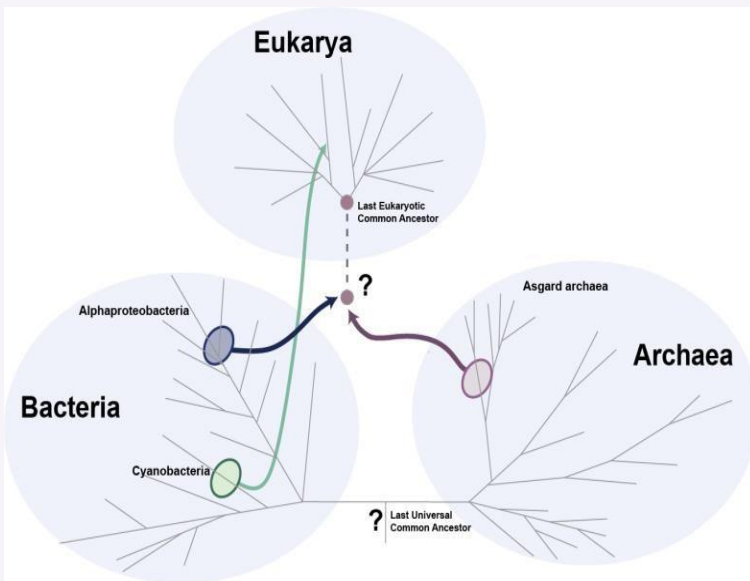
Es importante señalar que LUCA no fue la primera célula u organismo similar a una célula en la Tierra, ni tampoco fue la única célula/población celular que existía en ese momento. Probablemente estaba rodeado por muchas otras formas de vida parecidas a células. Sin embargo, estos, al igual que otros homínidos que vivieron en la época de los primeros *Homo sapiens*, no perpetuaron ni dieron lugar a ningún linaje evolutivo que exista actualmente.

Además del TOL, otras características compartidas por toda la vida celular en la Tierra sugieren una ascendencia común: por ejemplo, todas las células (las de Bacteria, Archaea y eucariotas) comparten el mismo código genético y conocimientos básicos. principios de su decodificación: **transcripción (ARN de transferencia, ARN mensajero)** y **traducción** (por ejemplo, **ribosomas**, incluido el **ARN ribosómico**), que median en la síntesis de proteínas a partir de genes codificados en el ADN. Además, todos los organismos están compuestos por células rodeadas por una **membrana bicapa lipídica** que proporciona un compartimento para el material genético y el metabolismo de la célula. Si bien los restos lipídicos de Archaea y Bacteria difieren algo, es probable que LUCA también ya tuviera una membrana lipídica.

¿Qué más sabemos sobre LUCA? Debido a que LUCA vivió hace más de 4 mil millones de años y no dejó ningún **fósil** o **biomarcador** conocido, no tenemos ningún rastro directo de este organismo y, por lo tanto, es extremadamente difícil predecir con precisión sus características. Sin embargo, utilizando nuevos enfoques bioinformáticos, los científicos pueden mejorar las estimaciones sobre la época en que vivió LUCA y utilizar información de la vida existente para reconstruir la naturaleza de los diversos ancestros hipotéticos en el árbol de la vida hasta su raíz, es decir, tan atrás en el tiempo. como LUCA.

Además, el estudio de los registros biológicos y la bioquímica puede ayudar a predecir las condiciones ambientales en el momento de LUCA y proporcionan limitaciones sobre el cómo esta forma de vida celular evolucionó a partir de precursores aún más simples. Los hallazgos de la aplicación de tales enfoques sugieren que LUCA puede haber sido un organismo **anaeróbico**, **termófilo** o incluso **hipertermófilo** que prosperaba de manera óptima a temperaturas muy superiores a 50°C. Probablemente también albergaba varias vías metabólicas centrales, incluidas enzimas para la síntesis de **ATP** (la moneda energética de la célula) y era potencialmente capaz de transformar carbono inorgánico en material celular (biomasa). Finalmente, es posible que haya vivido en un ambiente que se asemeja a los respiraderos hidrotermales y era rico en hidrógeno y dióxido de carbono. Sin embargo, todas estas predicciones siguen siendo hipotéticas y, si bien muchas características y secretos de LUCA pueden seguir siendo desconocidos para la ciencia, todavía se puede aprender mucho sobre nuestro ancestro común utilizando la riqueza de datos generados recientemente combinados con metodologías en constante mejora.

Cuadro 1



**Una representación del árbol de la vida.**

Archaea y Bacteria forman dos dominios principales de la vida que evolucionaron a partir del último ancestro común universal (LUCA) hace miles de millones de años. Actualmente se cree, pero no se ha confirmado, que LUCA se encuentra entre Archaea y Bacteria. Las células tanto de las arqueas como de las bacterias son unicelulares y no contienen compartimentos. Por el contrario, los eucariotas, que incluyen tanto protistas unicelulares como algas, pero también organismos multicelulares como plantas, hongos y animales, incluidos los humanos, probablemente hayan evolucionado más tarde. De hecho, la teoría predominante

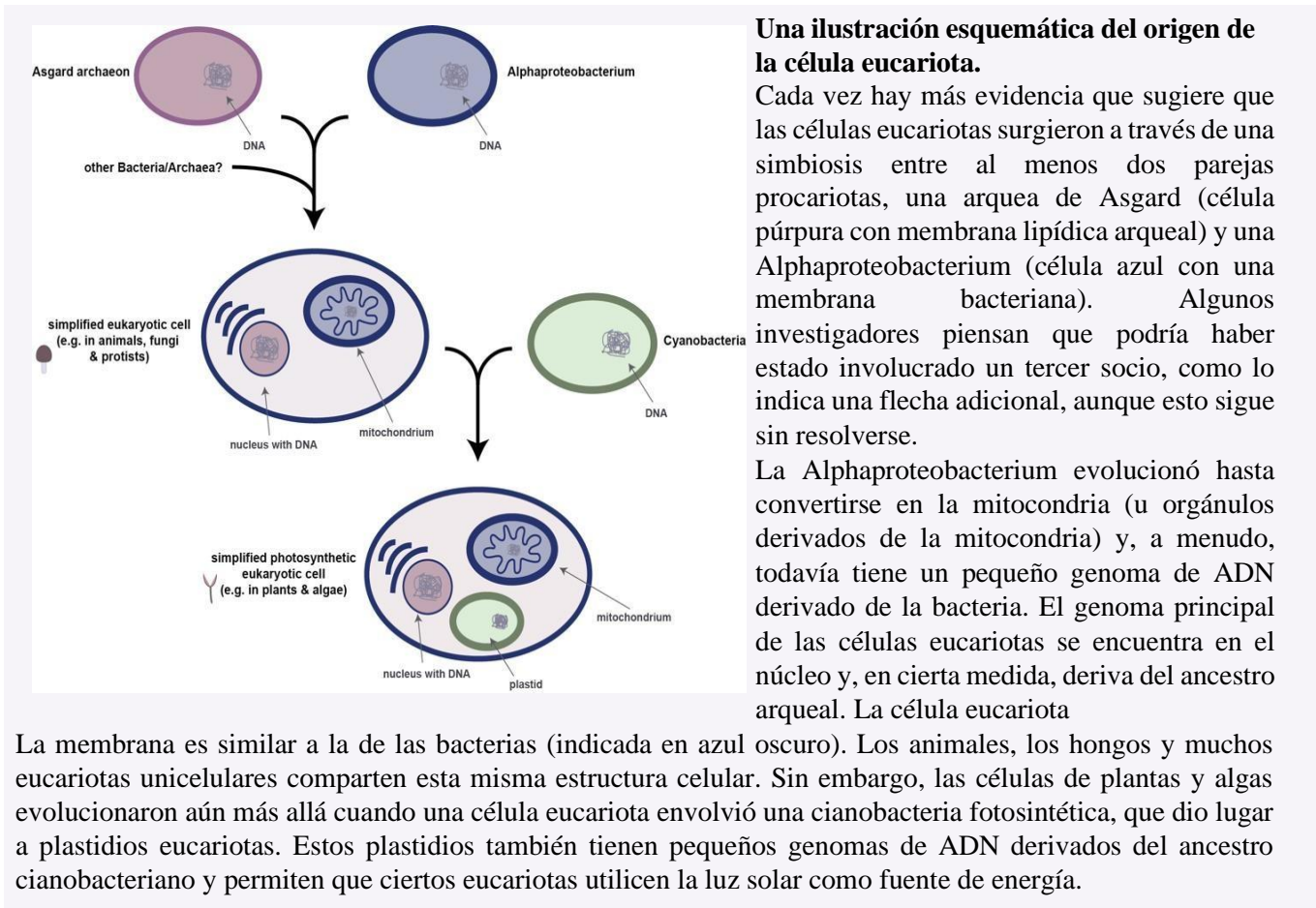
sugiere que las células eucariotas evolucionaron a partir de una simbiosis entre una arquea o un grupo hermano de arqueas (Asgard archaea) y una bacteria (Alphaproteobacterium) que da lugar al último ancestro común eucariota (LECA). Posteriormente, la adquisición de otro simbionte bacteriano (Cyanobacterium) por parte de un linaje eucariota, condujo a la evolución de células eucariotas fotosintéticas, incluidas las de algas y plantas. Por lo tanto, tanto las bacterias como las arqueas, mucho menos estudiadas, son muy importantes para nuestra comprensión de la evolución de la vida en la Tierra.

**4. ¿Cómo evolucionaron los eucariotas como nosotros?** Como se indicó anteriormente, las células eucariotas son más complejas que los de Archaea y Bacteria y se caracterizan por compartimentos intracelulares denominados **organelas** (Cuadro 2). Estos incluyen un **núcleo** que contiene el contenido genético del organismo, así como mitocondrias, la central eléctrica generadora de ATP de las células eucariotas. Las mitocondrias son responsables de la **respiración aeróbica** y de la generación de energía celular y, por tanto, alimentan el **metabolismo** de los eucariotas. Algunos eucariotas tienen **organelas relacionadas con las mitocondrias** (MRO), es decir, compartimentos que evolucionaron a partir de las mitocondrias pero que ya no respiran oxígeno. Algunos de estos MRO producen hidrógeno y permiten que los eucariotas correspondientes habiten en ambientes anóxicos, mientras que otros han perdido la mayoría de las funciones metabólicas.

Algunas células eucariotas además tienen **plastidios**, que son pequeños compartimentos que permiten captar la luz solar para adquirir energía. Además de estos y otros orgánulos, las células eucariotas también tienen un elaborado citoesqueleto (una red celular de proteínas estructurales que funciona como un esqueleto interno) y sistemas de transporte de vesículas intermembranas que unen los diferentes compartimentos entre sí.

¿Tiene alguna idea de dónde pueden venir estas organelas? Una de las hipótesis más aceptadas en la actualidad sugiere que en algún momento, probablemente hace 2 mil millones de años, hubo algunas arqueas (relacionadas con las llamadas **arqueas de Asgard**) y algunas bacterias (relacionadas con las **Alfaproteobacterias**) que vivían estrechamente juntas. En algún momento, estas células arqueales y bacterianas participaron en interacciones **simbióticas** que llevaron a la absorción de la bacteria en la célula arqueal (**Cuadros 1 y 2**). Las células bacterianas internalizadas evolucionaron posteriormente hasta convertirse en mitocondrias que metabolizan los azúcares para proporcionar energía para el crecimiento. Las mitocondrias tienen un genoma pequeño que contiene genes originalmente derivados del ancestro Alfaproteobacteriano, aunque algunos o todos estos genes se han perdido en las MRO. Otros genes están ahora localizados en el núcleo, junto con genes derivados del huésped arqueal y muchos genes nuevos que evolucionaron más tarde.

**Cuadro 2**



De manera similar, algunas de estas células eucariotas posteriormente absorbieron otras bacterias (las llamadas algas verde-azules o cianobacterias), que evolucionaron hasta convertirse en plastidios y proporcionan a las células de algas y plantas la capacidad de aprovechar la energía de la luz solar mediante un proceso llamado fotosíntesis. De hecho, algunos eucariotas tienen engullidas por algas eucariotas (es decir, células eucariotas con plastidios) que conducen a orgánulos internos altamente complejos. Además, algunas de las células eucariotas unicelulares evolucionaron hasta convertirse en organismos multicelulares, como plantas y animales, incluidos los humanos.

Por lo tanto, toda la biosfera visible hoy en día deriva en última instancia de arqueas y bacterias, microorganismos que todavía constituyen el mayor número de células de la Tierra y han dominado la diversidad de organismos en la Tierra desde las primeras etapas de la evolución de la vida celular.

### Posibles implicaciones para las decisiones

¿Qué no sabemos actualmente que sea importante para políticas/comportamientos futuros? Recientemente, se han descubierto muchos grupos nuevos de arqueas, bacterias y eucariotas unicelulares en todos los entornos de la Tierra, incluidos suelos, sedimentos, lagos y océanos, así como asociados con plantas, animales y humanos. Sin embargo, todavía sabemos muy poco sobre las funciones de todos estos organismos y cómo afectan el ciclo de los nutrientes y el cambio climático. Una pequeña fracción de estos organismos también podría representar patógenos desconocidos o emergentes, que pueden causar enfermedades en humanos u otros eucariotas. Además, queda mucho por aprender sobre los principales acontecimientos de la evolución celular y los detalles de la divergencia más temprana entre arqueas y bacterias, así como el origen y posterior diversificación de la célula eucariota. ¿Podremos algún día reconstruir completamente la evolución y el tiempo de los personajes a lo largo de las distintas ramas del TOL utilizando tecnologías y herramientas analíticas



## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

en constante mejora? ¿Y/o seremos capaces de probar algunas de nuestras hipótesis en el laboratorio o computacionalmente y reproducir algunas partes de estos eventos antiguos para iluminar aún más nuestros orígenes más profundos? ¿Y tal vez predecir el futuro de la vida? Sin lugar a duda: mientras los humanos o formas similares de vida consciente e inteligente habiten en la Tierra, seguiremos reflexionando sobre cómo comenzó todo y cómo continuará en el futuro.

### La base de evidencia, lecturas adicionales y ayudas didácticas.

#### Vídeos:

Sobre el árbol de la vida, eucariogénesis y Archaea:

<https://www.youtube.com/watch?v=hw-ij3822DY>

<https://www.youtube.com/watch?v=rd37jBXfM4k>

En LUCA:

<https://www.youtube.com/watch?v=vN0nEHYRD3E>

#### Literatura

Reseña sobre el árbol de vida:

Spang, A., Mahendrarajah, TA, Offre, P. y Stairs, CW 2022. Perspectiva cambiante sobre el origen y la diversificación de la vida celular y la virosfera. *Biología y evolución del genoma*. Revisar.

Revisión sobre el dominio de la vida:

Williams TA, Foster PG, Cox CJ, Embley TM. Un origen arqueal de los eucariotas sustenta sólo dos dominios principales de la vida. *Naturaleza*. 12 de diciembre de 2013; 504 (7479): 231-6.

Repaso sobre el origen de la célula eucariota:

Eme L, Spang A, Lombard J, Escaleras CW, Ettema TJG. Archaea y el origen de los eucariotas. *Nat Rev Microbiol*. 10 de noviembre de 2017; 15 (12): 711-723.

Artículos sobre el último ancestro común universal:

Woese, C. El ancestro universal. *Proc. nacional Acad. Ciencia. Estados Unidos* 95, 6854–6859 (1998).

Weiss MC, Sousa FL, Mrnjavac N, Neukirchen S, Roettger M, Nelson-Sathi S, Martin WF. La fisiología y el hábitat del último ancestro común universal. *Microbiol natural*. 25 de julio de 2016; 1 (9): 16116.

### Glosario

**Respiración aeróbica.** La oxidación de sustratos de crecimiento (p. ej., azúcar, proteínas, grasas) utilizando oxígeno para finalizar productos (por ejemplo, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O), a través de una serie de enzimas integradas en la membrana que generan un gradiente de electrones que puede aprovecharse para la producción de ATP (el proveedor de energía de la célula).

**Anaerobio.** Organismo que no requiere oxígeno para crecer. De hecho, el oxígeno es tóxico para muchos (aunque no todos) anaerobios.

**Alfaproteobacterias.** Grupo de bacterias que se cree que dieron origen a las mitocondrias, los pequeños orgánulos dentro de las células eucariotas que son responsables de proporcionar energía para el crecimiento.

**Arqueas de Asgard.** Un grupo de Archaea recientemente descubierto, que es más estrechamente relacionado con los eucariotas que cualquier otro linaje arqueal conocido hasta ahora. Se sugiere que las arqueas de Asgard alguna vez interactuaron con Alfaproteobacterias y juntas dieron lugar a eucariotas.

## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

**ATP.** La molécula trifosfato de adenosina es el portador de energía universal predominante en toda la vida celular en la Tierra.

**Biomarcador.** Moléculas biológicas que son indicativas de determinadas formas de vida de procesos vitales. Su presencia en muestras geológicas puede indicar la existencia de una determinada forma de vida o proceso metabólico en ese momento de entierro.

**Células.** Son las pequeñas unidades estructurales de los organismos. Toda la vida celular está compuesta de células que contienen material genético con información para el crecimiento y la replicación. Ver también:

<<https://www.nature.com/scitable/topicpage/what-is-a-cell-14023083/>>

**Cianobacterias.** Grupo de Bacterias cuyos miembros son capaces de obtener energía para su vida a partir de la luz solar mediante el proceso llamado fotosíntesis. Algunas de las primeras células eucariotas han absorbido células cianobacterianas, lo que les permitió a estos eucariotas utilizar la luz solar también para crecer. Por ejemplo, las algas y las plantas, que viven de la energía de la luz solar, tienen pequeños restos de cianobacterias dentro de sus células denominados plastidios, que son responsables de la fotosíntesis.

**ADN, Ácido desoxirribonucleico y ARN, Ácido ribonucleico.** El ADN es un polímero compuesto de subunidades repetidas de la misma molécula básica, es decir, los llamados monómeros de nucleótidos. Cada uno de esos nucleótidos está compuesto a su vez por uno de los cuatro núcleos bases que contienen nitrógeno, un azúcar llamado desoxirribosa y un grupo fosfato. En los polímeros de ARN, el azúcar es ribosa en lugar de desoxirribosa y un núcleo base es diferente. Mientras que el ADN se presenta como grandes hélices bicatenarias que comprenden los genomas de los organismos celulares, los diversos polímeros de ARN de los organismos celulares, como los ARN mensajero, de transferencia y ribosomal (ARNm, ARNt, ARNr) son generalmente monocatenarios y sirven como intermediarios entre el ADN (código genético) y las proteínas.

**Fermentación.** La producción de ATP por fosforilación a nivel de sustrato en lugar de utilizar vías respiratorias.

**Fósiles.** Restos conservados o rastros de organismos en el registro geológico, como huesos, conchas, exoesqueletos, huellas de piedra, etc.

**Genes.** Secuencia de ADN que codifica la información de un producto genético, es decir, ARN o una proteína. Las proteínas están formadas por aminoácidos, llevan a cabo reacciones metabólicas en la célula y son responsables de las funciones que caracterizan a un organismo.

**Genoma.** La información genética de un organismo que comprende todos sus genes. Puede organizarse en una cadena contigua (normalmente un cromosoma circular en procariontes) o en múltiples cromosomas (a menudo lineales) (p. ej., en eucariotas).

**Transferencia horizontal de genes.** El intercambio de genes entre organismos (que viven al mismo tiempo en el mismo ambiente) que están relacionados lejanamente entre sí. Este intercambio horizontal de genes puede desdibujar parte de la señal de la evolución vertical, es decir, de genes que han evolucionado mediante la transferencia de padres a hijos a lo largo de la evolución. Este último tipo de genes son marcadores ideales para reconstruir un árbol de la vida.

**Hidrógeno, H<sub>2</sub>.** Un gas que representa una importante fuente de alimento para los organismos microbianos, especialmente en ambientes con poco o ningún oxígeno, como los sedimentos.

**Hipertermófilo.** Un organismo con una temperatura óptima de crecimiento alrededor o superior a 80 °C.

**Bicapa lipídica.** Membrana compuesta de dos capas distintas, cada una de las cuales contiene varios restos lipídicos individuales. Estas membranas, entre otras cosas, encierran células, en cuyo caso generalmente también contienen moléculas distintas de los lípidos, como transportadores o complejos enzimáticos unidos a la membrana.

**Metabolismo.** Reacciones químicas que sustentan la vida dentro de los organismos y que permiten la producción de ATP (el proveedor de energía de la célula) y su uso para sintetizar componentes básicos de las funciones celulares necesarias, como el crecimiento y la replicación.

**Mitocondrias.** Organelos/compartimentos unidos a membranas dentro de células eucariotas, que se



## Un marco educativo en microbiología centrado en la niñez

creo que derivan de Alfabroteobacterias. Funcionan como central eléctrica o motor de las células eucariotas, es decir, proporcionan a las células eucariotas la energía necesaria para su crecimiento.

**Morfología.** Forma y estructura de formas/organismos de vida.

**Multicelular.** Organismos formados por muchas células, todas con la misma información genética.

**Núcleo.** Otro orgánulo de células eucariotas rodeado de membrana, que contiene el material genético en forma de genoma. La mayoría de las células eucariotas tienen un núcleo (pero varias mitocondrias).

**Organelos.** Subunidad o compartimento especializado dentro de una célula, que generalmente está rodeado por una membrana propia.

**Parásito.** Un simbiote que tiene efectos negativos en su organismo huésped, como por ejemplo un virus o una bacteria que causa daño al organismo huésped.

**Patógeno.** Cualquier parásito que pueda causar enfermedad.

**Árbol filogenético.** Un diagrama de ramificación simple (o red) similar a un árbol genealógico generado sobre la base de comparaciones de características morfológicas o datos de secuencias de ADN/proteínas de organismos existentes, que ilustran las relaciones entre genes u organismos. La raíz es el ancestro común, mientras que las puntas representan los caracteres o secuencias de organismos existentes. Los nodos internos reflejan intermediarios o ancestros hipotéticos de un subconjunto de puntas. Las longitudes de las ramas son relativas a la cantidad de cambio que caracteriza una secuencia y se estiman en base a un modelo de evolución que especifica los parámetros del proceso evolutivo.

**Plastidio.** Organelos en algas eucariotas que permiten la recolección de luz solar para la conservación de energía y se derivan originalmente de cianobacterias.

**Dominio primario de la vida.** Los dominios de la vida que evolucionaron directamente (verticalmente) a partir de LUCA, es decir, Archea y bacterias.

**Proteína.** Molécula grande que consta de diferentes aminoácidos dispuestos en una secuencia específica dictada por su gen. Todos los genes de la célula están organizados en cromosomas y colectivamente forman la información genética o genoma de la célula. Las diferentes proteínas de un organismo determinan su función y biología. Por ejemplo, hay proteínas estructurales que se utilizan para construir la célula, mientras que otras son enzimas que llevan a cabo reacciones celulares que metabolizan las fuentes de alimentos o replican el genoma, etc.

**Ribosoma.** Una máquina macromolecular presente en toda la vida celular que es responsable de la síntesis de proteínas a partir de genes codificados en el genoma. Se compone tanto de una gran cantidad de proteínas ribosómicas individuales como de componentes de ARN ribosómico.

**Dominio secundario de la vida.** Un dominio de vida que no evolucionó verticalmente a partir de LUCA, sino que surgió a través de la fusión de dos representantes distintos de los dominios primarios de la vida. Los modelos más recientes sugieren que los eucariotas han evolucionado a través de un evento de fusión de tal manera que se les ha denominado dominio secundario de la vida.

**Simbiote.** Un organismo que vive en una relación simbiótica, es decir, en una interacción a largo plazo con otro organismo de diferente tipo. Cuando ambos socios tienen un efecto positivo de la interacción simbiótica, la relación es mutualista. Sin embargo, si sólo uno de los socios se beneficia y causa daño al otro, la interacción es parasitaria.

**Termófilo.** Un organismo con una temperatura óptima de crecimiento entre 50 y 80°C. Transcripción. Proceso mediante el cual la información codificada en un gen, es decir, un fragmento de ADN se transcribe en ARN mensajero.

**Traducción.** El proceso en el que la información codificada en el ARN mensajero se traduce en una proteína.

**ARN (ARNt, ARNm y ARNr).** ver ADN.

**Árbol de la vida.** Un árbol que describe la relación de todos los organismos celulares vivos entre sí.

**Unicelular.** Organismos formados por una sola célula.