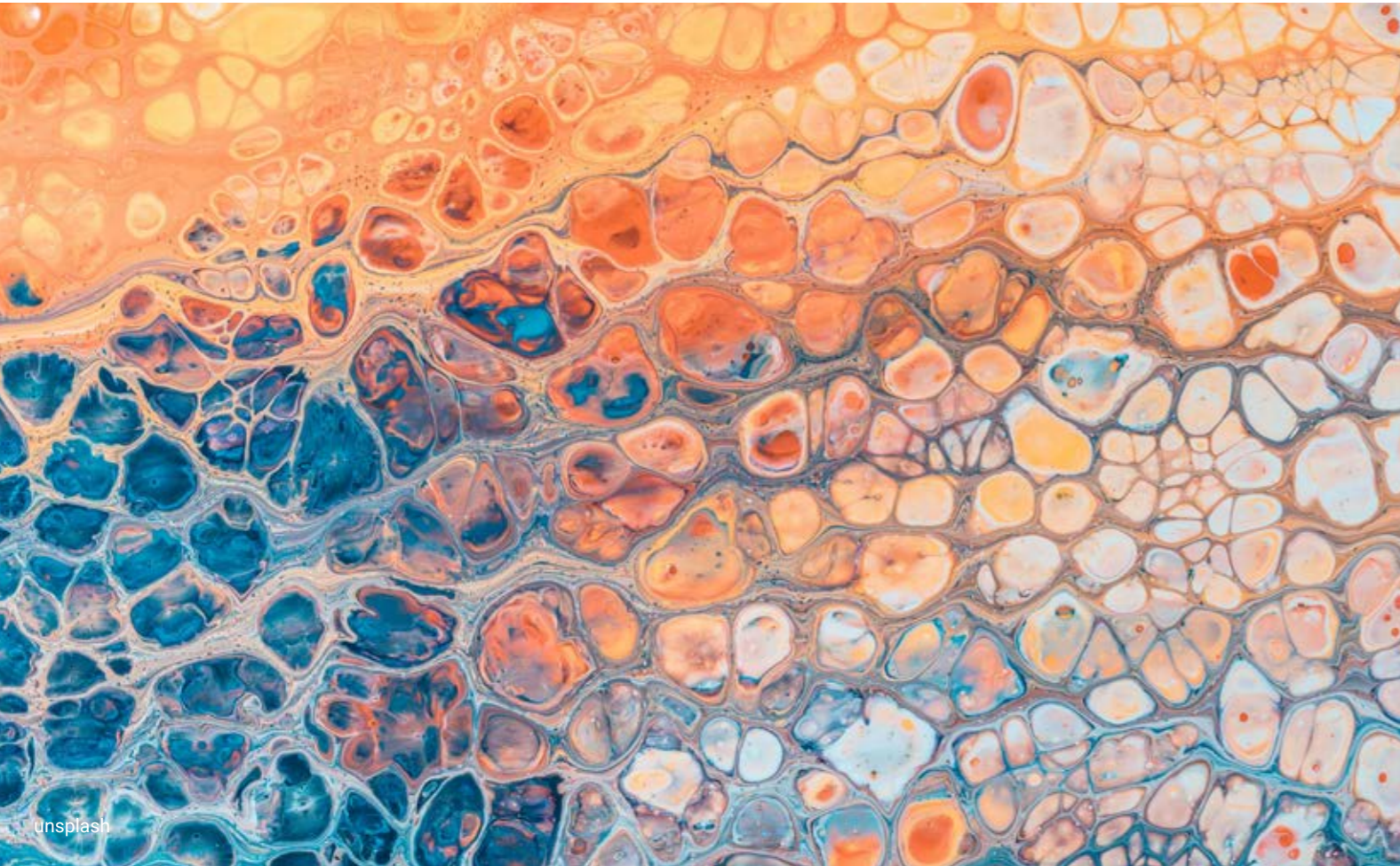




Conceptos básicos sobre las células

“¿Ha existido en algún momento de la Historia de la humanidad una pandemia relevante causada por una bacteria? ¿Cómo se realizaría su propagación?”

Isabel Mauriz Turrado,
Claudio Yepes del Álamo
y José Manuel Martínez Pérez



Un discípulo de Darwin llamado Ernst Haeckel fue el primero que propuso separar dos tipos de células según la presencia o no de núcleo. Posteriormente, en el siglo XX, Edouard Chatton propuso el término *procariótico* para referirse a las bacterias y *eucariótico* para el resto (Mauriz Turrado y cols., 2021).

El origen de las células pudo ser la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas bajo unas condiciones ambientales determinadas; tras ello, las biomoléculas se asociaron siendo capaces de mantenerse frente al medio y autorreplicarse. Así debieron formarse unas primeras protocélulas a las que Carl Woese llamó *eobiontes* o *progenotas*. Las células eucariotas surgieron de las procariotas al evolucionar ciertos sistemas membranosos (aparato de Golgi, retículo endoplasmático) o según la "teoría endosimbiótica" de Lynn Margulis (1970) que sugiere la internalización de estructuras (mitocondrias), originalmente procariotas, dentro de la eucariota (Margulis, 1970).

PRINCIPALES DIFERENCIAS ENTRE EUCARIOTES

Hay tres tipos de células eucarióticas: animales, vegetales y fúngicas. Las dos primeras son las más representativas y poseen más similitudes que diferencias. Las estructuras en que las células vegetales difieren de las animales son:

- Vacuolas: de gran tamaño. Regulan la presión osmótica y sirven de almacén. También aparecen en animales pero son más pequeñas.
- Plastos o Plastidios: orgánulos con doble membrana y un genoma propio. Ej.: cloroplastos (fotosíntesis).
- Pared celular: rodea a la membrana plasmática y está formada por fibras de celulosa englobadas en una matriz de polisacáridos y proteínas.
- Forma y tamaño: generalmente es poliédrica y alcanza los 100 µm en vegetales en contraposición con la diversidad de formas y los 10-30 µm de las animales.
- Por su parte, las células animales poseen centriolos (orgánulos relacionados con la formación del citoesqueleto) que no aparecen en las vegetales.

FORMAS ACELULARES

A finales del siglo XIX se sospechaba de la existencia de seres vivos más pequeños que las células conocidas, en concreto con Dimitri Ivanowsky que lo descri-

“El origen de las células pudo ser la transformación de moléculas inorgánicas en orgánicas bajo unas condiciones ambientales determinadas.”

bió con la enfermedad del mosaico del tabaco. Se le denominó "virus", que significa "veneno" en latín (Madigan y cols., 2009).

Virus

Son entidades que se localizan en el umbral que separa lo vivo de lo inerte. Se caracterizan por: a) no ser celulares; b) no moverse por sí solos; c) no tener metabolismo; y, d) reproducirse solo dentro de las células que parasitan.

Rasgos	Célula PROCARIOTA	Célula EUCARIOTA
ADN	Con poliamidas asociadas Poco o nada repetitivo	Con proteínas asociadas Bastante repetitivo
Tamaño	0,05 - 10 µm	10 - 100 µm
Cromosomas	Único y circular	Múltiples y lineales
Nucléolos, cloroplastos y citoesqueleto	Ausentes	Presentes
Ribosomas	70S	80S
Enzimas respiratorias	Asociadas a membrana plasmática	En las mitocondrias
Órganos vibrátiles	Flagelos extracelulares (flagelina)	Undulipodios (tubulina)
Pared celular	Con peptidoglicano	Celulósica (vegetales) Quitinosa (hongos)
División celular	Fisión binaria o bipartición	Varias formas asociadas con mitosis

División I Gracillicutes: bacterias Gram negativas.

Clase I *Scotobacteria*: no fotosintéticas (bacterias de importancia clínica).
 Clase II *Anoxyphotobacteria*: fotosintéticas, no productoras de oxígeno (bacterias púrpuras y verdes de importancia ambiental).
 Clase III *Oxyphotobacteria*: fotosintéticas, productoras de oxígeno (cianobacterias).

División II Firmicutes: bacterias Gram positivas.

Clase I *Firmibacteria*: bacilos o cocos Gram positivos (cocos y bacilos regulares).
 Clase II *Thallobacteria*: bacterias Gram positivas con ramificaciones (actinomicetes).

División III Tenericutes

Clase I *Mollicutes*: células que carecen de pared (mycoplasmas).

División IV Mendosicutes

Clase I *Archaeobacteria*: presentan compuestos atípicos en la composición de la pared celular y membranas.

Imagen cedida por los autores.

◀ **Denominación y definición de las cuatro Divisiones del Reino Monera según el Manual Bergey de Bacteriología Sistemática (Brenner y cols., 2005).**

El Reino Monera

Clásicamente se dividía en dos subreinos: bacterias verdaderas y cianobacterias. La clasificación de los tres Dominios fue propuesta más adelante por Woese (1990), siendo *Bacteria* (*Eubacteria*), *Archaea* (*Archaeobacteria*) y *Eukaria* (*Eukaryota*: *Protista*, *Fungi*, *Plantae* y *Animalia*) (Madigan y cols., 2009).

Los avances en la tecnología y el conocimiento de la biología de estos organismos han supuesto que cambie su taxonomía. Según los últimos estudios ratificados por Cavalier-Smith (2020), el Clado *Archaeobacteria/Eukaryota* se denomina *Neomura* frente a las Eubacterias, diferenciándose ambos por sus tipos de pared.

El biólogo Gould, en el siglo XX, afirmaba que estamos ante un mundo esencialmente bacteriano. No solo porque durante la primera mitad de la Historia únicamente había bacterias, sino porque sus extraordinarias características han permitido que se extiendan por todas partes. De hecho, aunque la mayoría se reproducen de manera asexual por fisión binaria (hay otros mecanismos asexuales, sexuales y parasexuales), también presentan metabolismos muy variados que les permiten colonizar todos los hábitats terrestres. Además, si bien provocan algunas enfermedades, su rol ecológico como descomponedores es fundamental.

El sistema actual clasifica las bacterias según si son fotosintéticas o no, motiles o no, unicelulares o multicelulares, y si forman esporas o presentan fisión binaria.

Con estos criterios y la similitud en la secuencia de nucleótidos que componen los ribosomas (ARNr), los organismos que anteriormente conocíamos como Reino *Monera* ahora quedan divididos en cuatro grupos (Brenner y cols., 2005; Madigan y cols., 2009):

- *Gracillicutes* o bacterias Gram (-). Tienen una pared de mureína y doble membrana plasmática.
- *Firmicutes* o bacterias Gram (+). Llamadas endobacterias, poseen una pared celular muy gruesa y forma de bacilo o de coco.
- *Mollicutes*, *Tenericutes* o Micoplasmas. Bacterias mayormente parásitas, son muy simples y carecen de pared celular.
- *Mendosicutes*, Arqueas o Arqueobacterias. Difícil clasificarlas. Presentan rutas metabólicas más semejantes a los eucariotas que a procariontes.

El Mimivirus (identificado en 2003 por unos investigadores de Marsella) posee ADN y sintetiza 50 tipos de proteínas, lo que justificaría su inclusión dentro de los seres vivos.

Están constituidos por un genoma vírico (ADN o ARN), una cápsida y una posible envoltura membranosa (los "virus desnudos" no).

Para perpetuarse siguen dos tipos de ciclos (lítico y lisogénico) con unas fases comunes: a) Fijación, b) Penetración, c) Eclipse, d) Ensamblaje y e) Liberación (Curtis y cols., 2008; Madigan y cols., 2009).

Otras formas acelulares

- **Viroides:** Están constituidos por una molécula circular de ARN de una sola hebra. En 1986 se descubrió que el agente de la Hepatitis Delta humana posee un genoma de ARN tipo viroide.
- **Virinos:** Fragmentos muy pequeños de ácido nucleico con afinidad por proteínas específicas del sistema nervioso.
- **Priones** (Stanley Prusiner en 1981): Son responsables de las encefalopatías espongiiformes transmisibles. Son pequeñas partículas proteicas infectantes, constituidas por una isoforma anómala de una

proteína denominada PrP. Supuso el Nobel de Medicina para su descubridor, Prusiner, en 1997.

- **ARNs satélites:** Son pequeñas moléculas de tamaño similar al de los viroides de plantas. Se replican solo en presencia del virus colaborador específico. Dentro de este grupo están los "virusoides", que se supone son virus de los propios virus.

LA ESTRUCTURA BACTERIANA

La clasificación de los seres vivos que se utiliza actualmente la propuso Whittaker (1969) y fue modificada en 1985 por Margulis y Schwartz. Según ella, existían cinco Reinos: *Monera*, *Protoctista*, *Fungi*, *Plantae* y *Animalia* (Margulis y Schwartz, 1985; Madigan y cols., 2009).

Las bacterias son microorganismos que constituyen el Reino *Monera*. Son los seres vivos más abundantes de la Tierra y están presentes en todos los hábitats. Su existencia fue decisiva para crear las condiciones iniciales de la existencia de vida en el planeta (Alberts y cols., 2004).

Por su simplicidad estructural (procariontes), rápido crecimiento y accesibilidad, se han utilizado en las investigaciones biológicas. Pueden ser de tipo productor (foto y quimiosintéticos), consumidor (saprofitos o simbioses) o transformador.

“Las cianobacterias fueron las que evolutivamente desarrollaron la fotosíntesis oxigénica en nuestro planeta.”



Las Cyanophytas

Son consideradas un *Phylum* de las Eubacterias. También han sido llamadas vulgarmente algas verde-azuladas. En la actualidad son denominadas, en general, cianobacterias (Curtis y cols., 2008; Peleato Sánchez, 2011).

Las cianobacterias fueron las que evolutivamente desarrollaron la fotosíntesis oxigénica en nuestro planeta. Además, sus ancestros cooperaron con otras células primitivas permitiendo una endosimbiosis que desembocó en la existencia de formas de vida autótrofa como las de plantas superiores. Actúan como productores

primarios manteniendo los ciclos del oxígeno, del nitrógeno y del carbono. Fijan el nitrógeno atmosférico por medio de estructuras especializadas (heterocistes). Son abundantes en aguas saladas y dulces, incluso en ambientes extremos (de temperatura o desecación) (Peleato Sánchez, 2011).

Se hace obligado hablar de los estromatolitos, estructuras organosedimentarias litificadas laminadas, formadas por la actividad de cianobacterias. Su importancia radica en que son los principales productores de oxígeno en la Tierra, la evidencia fósil de los organismos más antiguos del planeta que mantienen su línea evolutiva.

Desde el punto de vista morfológico, su pared celular está formada al menos por dos capas: a) la más próxima al citoplasma o protoplasto está estratificada y puede estar constituida por celulosa y ácido murámico y b) sobre esta última hay una capa mucilaginosa pectínica de espesor variable. Asimismo, poseen membranas internas ("laminillas fotosintéticas") que contienen enzimas de la fotosíntesis y pigmentos, presentan únicamente clorofila *a*, y otros (ficoeritrinas que otorgan color rojizo y ficobilinas que generan la coloración

Estromatolitos en el lago Thetis (Australia).



Imagen cedida por los autores.



unsplash

azulada) que se localizan en los ficobilisomas (Madigan y cols., 2009; Peleato Sánchez, 2011). Algunas tienen unas vacuolas gaseosas que les ayudan a flotar. Aunque carecen de flagelos, algunas cianobacterias filamentosas realizan movimientos oscilatorios. Su reproducción es asexual por bipartición, por fragmentación de filamentos a partir de células especializadas (disyuntores, necridios o heterocistes) y por acinetos en algunas especies.

Entre los principales grupos morfológicos están las unicelulares como *Gloeocapsa* (fisión binaria) y *Pleurocapsa* (fisión múltiple), y las filamentosas como *Anabaena* (con heterocistos), *Spirulina* (sin heterocistos) y *Stigonema* (ramificada) (Peleato Sánchez, 2011).

Las Archeobacterias

En los años ochenta, Woese dio a conocer las Archeobacterias como las bacterias más primitivas, extremófilas, con pared bacteriana sin peptidoglicanos y cuyos lípidos de membrana presentaban hidrocarburos unidos por enlace éter (Madigan y cols., 2009). Pueden ser:

Halófilas:

- Viven en ambientes de elevada salinidad (> 12 %).
- Confieren un color rojizo al medio (Mar Muerto).
- La mayoría son aerobios obligados, pero otras pueden realizar procesos fermentativos o de respiración anaeróbica.

Termoacidófilas:

- Habitan en aguas calientes geotérmicas (Temperatura > 80°C, ricos en azufre y pH <2) o en lugares ligeramente alcalinos. La cepa 116 de *Methanopyrus kandleri* crece a 122°C, la más alta registrada en la que puede vivir un organismo (Kurr y cols., 1991; Takai y cols., 2008).
- La mayoría son anaerobios estrictos, aunque algunas presentan un metabolismo aerobio.

Metanógenas:

- Viven en ambientes anaerobios estrictos y producen metano.

Categoría	Fuente de carbono	Fuente de energía	Dador de electrones
Fotoautótrofos	CO ₂	Luz	Sustancias inorgánicas reducidas
Fotoheterótrofos	Sustancias orgánicas	Luz	Sustancias orgánicas
Quimiautótrofos	CO ₂	Reacciones de óxido-reducción	Sustancias inorgánicas reducidas
Quimiheterótrofos	Sustancias orgánicas	Reacciones de óxido-reducción	Sustancias orgánicas

“El material genético nunca está aislado del citoplasma por una membrana nuclear. La membrana plasmática presenta intrusiones citoplasmáticas con enzimas respiratorias asociadas.”

- Habitan en ambientes ricos en materia orgánica en descomposición.

Actualmente, *Archaea* se caracteriza por comprender tres *Phyla*:

- Euryarchaeota*, que comprende a las Archeobacterias metanógenas, las halófilas y organismos relacionados.
- Crenarchaeota* que agrupa termófilos oxidadores de azufre.
- Korarchaeota*, el último que se ha descubierto, en ambientes hidrotermales.

CLASIFICACIÓN METABÓLICA:

Las bacterias forman un grupo heterogéneo en cuanto a la nutrición, como se muestra en la tabla adjunta.

ESTRUCTURA BACTERIANA:

De tamaños entre 1-10 µm x 0,2-1 µm, normalmente unicelulares, pero pueden presentar formas filamentosas, micelares y coloidales (Madigan y cols., 2009).

La existencia de pared rígida es común pero no universal. En 1884, Christian Gram estableció la división:

- Gram (+): Presenta una capa basal de peptidoglicano (mureína) con polisacáridos, ácidos teicoicos y proteínas asociados.
- Gram (-): A la capa de mureína se asocia otra con fosfolípidos, polisacáridos y proteínas.

El material genético nunca está aislado del citoplasma por una membrana nuclear. La membrana plasmática

presenta intrusiones citoplasmáticas (mesosomas) con enzimas respiratorias asociadas. La membrana posee opanoides (con función similar a los esteroides). Los pigmentos fotosintéticos están localizados en la membrana o en varios tipos de sistemas intracitoplasmáticos. Pueden existir flagelos (de longitud mayor a la bacteria y de disposición y número variables), fimbrias (para fijarse al sustrato, son cortas y numerosas) y *pili* (intercambio de material genético, son más largos y menos numerosos que las fimbrias) (Cooper, 2002; Madigan y cols., 2009).

En el citoplasma existen ribosomas 70S, inclusiones (lípidos, glucógeno), cromatóforos (pigmento fotosintético) y el ADN bacteriano (molécula de doble hélice circular con proteínas no histónicas). Está el nucleóide y pueden existir pequeñas moléculas de ADN circular con autorreplicación (plásmidos).

En cuanto a las bacterias fotosintéticas anaerobias, estas tienen bacterioclorofila; las anaerobias, clorofila (De Robertis y De Robertis, 1996).

Finalmente, en *Archaea* es diferente, principalmente, en cuanto a su estructura de la membrana celular (sin peptidoglicano y con glucoproteínas), a sus ribosomas (son más parecidos a eucariotas) y a los flagelos (análogos a *Eubacteria*, pero no homólogos).

FORMA Y AGRUPACIÓN:

- Cocos: Aspecto redondeado. Pueden aparecer aislados, en parejas (diplococos), en cadenas arrosariadas (estreptococos), en racimos (estafilococos) o masas cúbicas (sarcinas).
- Bacilos: Forma de bastoncillo, en parejas (diplobacilos) o cadenas (estreptobacilos).
- Espirilos: Forma helicoidal.
- Espiroquetas: Forma de tirabuzón.

Estructura de las bacterias Gram (-) y Gram (+).

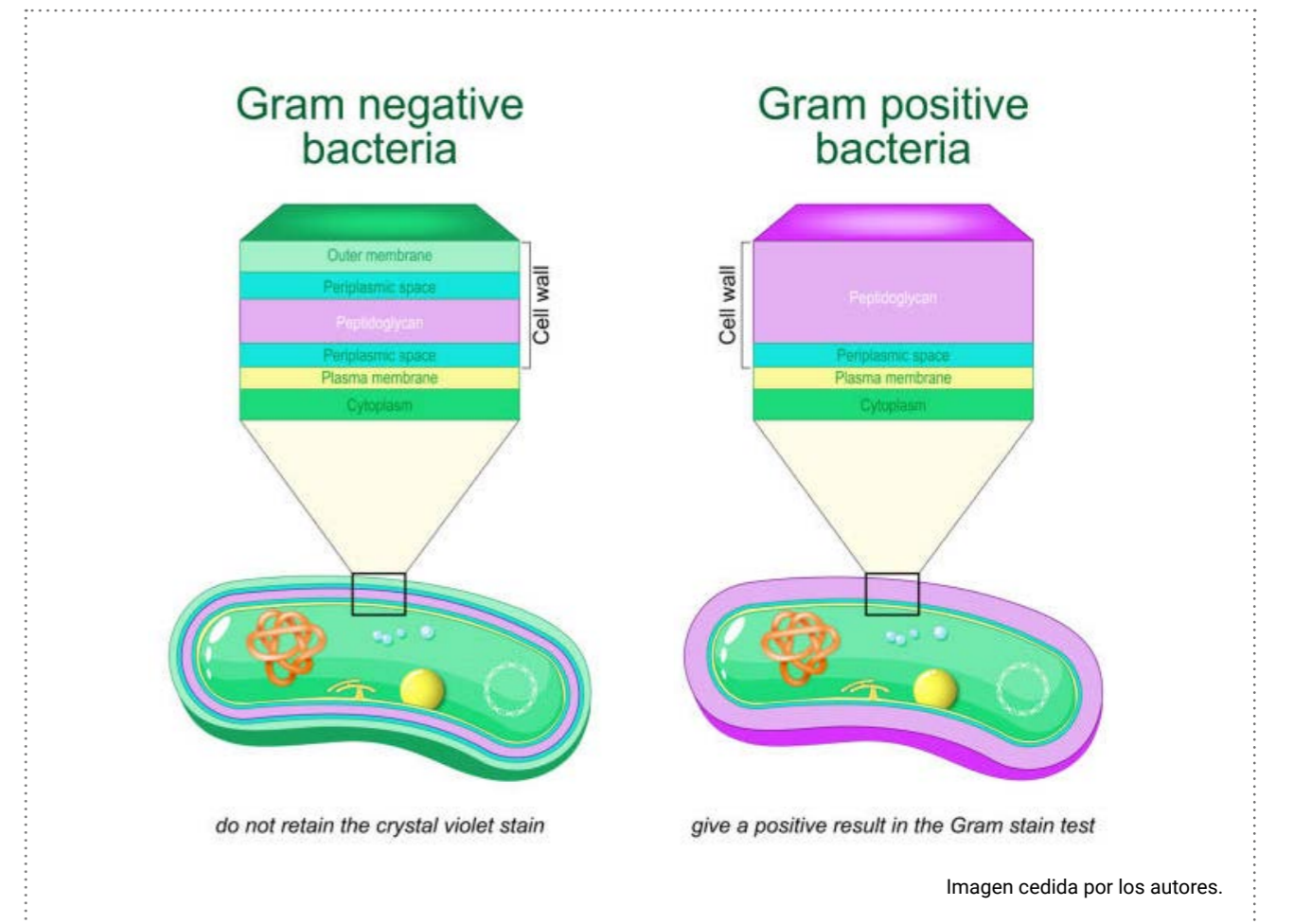


Imagen cedida por los autores.



pixabay

REPRODUCCIÓN BACTERIANA:

a) Sexual y parasexual:

- **Conjugación:** Bacteria donadora F+ (por tener un plásmido "F") transmite a través de los pili este plásmido F o también un fragmento de su ADN a otra bacteria receptora F-.
- **Transformación:** Intercambio genético producido cuando una bacteria capta fragmentos de ADN -de otra- que están en el medio. Puede darse en ocasiones la transformación de cepas no virulentas en virulentas.
- **Transducción:** La transferencia de material genético de una bacteria a otra se realiza a través de un virus bacteriófago que -por azar- lleva un trozo de ADN bacteriano y se comporta como un vector intermediario. El virus, al infectar a otra bacteria, le puede transmitir parte del genoma de la bacteria anteriormente infectada.

b) Asexual:

- **Fisión binaria:** Una célula "madre" duplica su material genético y celular que se reparte equitativamente dando lugar a dos células "hijas" genéticamente idénticas a la original.
- **Fisión múltiple:** La célula madre crece y desarrolla una cápsula antes de dividirse, por fisiones binarias sucesivas, antes de que las diversas células resultantes se dispersen.
- **Gemación:** Reproducción mediante la fisión desigual de la célula madre. Ocurre a veces también en cianobacterias y en *Firmicutes*.
- **Esporulación:** Reproducción por elementos de resistencia, tanto mediante endosporas (*Firmicutes*), como exosporas (actinobacterias) y acinetos (cianobacterias). La esporulación puede verse favorecida por circunstancias medioambientales adversas, como la falta de nutrientes o de luz.

IMPORTANCIA DE LAS BACTERIAS

Índole sanitaria

¿Ha existido en algún momento de la Historia de la humanidad una pandemia relevante causada por una bacteria? ¿Cómo se realizaría su propagación? Son preguntas que pueden venirnos a la mente, máxime en la situación actual, tan inestable.

A propósito de dichas preguntas, podríamos explicar la importancia de *Bacillus anthracis*, agente productor del ántrax o carbunco, uno de los agentes más utilizados en la guerra biológica. En condiciones ambientales adversas, algunas bacterias como esta producen endosporas (estructuras que se forman en el interior de las bacterias y que consisten en una gruesa capa protectora que encierra el material genético y unas cuantas enzimas). Las endosporas son muy resistentes al calor, sequedad, radiaciones, etc., y son muy longevas. Las endosporas

de *Bacillus anthracis* se pueden guardar durante tiempo indefinido y, llegado el momento, podrían soportar las duras condiciones del lanzamiento de un proyectil y permanecer viables en la atmósfera hasta ser inhaladas por una futura víctima.

En los organismos pluricelulares viven gran cantidad de bacterias, unas en simbiosis (ej.: flora intestinal) frente a otras oportunistas y/o que ocasionan patologías en casos de inmunodeficiencia (ej.: *Escherichia coli*). Asimismo, no hay que olvidar las bacterias que producen toxinas, en especial en el caso de las cianobacterias que pueden originar proliferaciones masivas ("blooms") liberando cianotoxinas al medio y provocando eutrofización.

La transmisión a humanos de las bacterias puede ser a través de alimentos, gotitas (saliva), contacto directo, vectores animales o heridas. Concretamente, las bacterias patógenas más frecuentes en el ser humano son las que aparecen en la tabla adjunta.

Por último, recientemente se ha descrito productos metabólicos del género *Nostoc* (cianobacterias) que tienen importancia sanitaria contra el Alzheimer y el Parkinson según investigadores suizos (Becher y cols., 2005).

“En los organismos pluricelulares viven gran cantidad de bacterias, unas en simbiosis frente a otras oportunistas.”

Perspectiva industrial

Las bacterias utilizadas en la industria son organismos seleccionados para producir productos específicos, directamente o por transformaciones bioquímicas. Estas bacterias deben poder crecer en cultivo puro rápidamente, producir una sustancia de interés y ser susceptibles de manipulación genética.

En la industria alimentaria son interesantes para la obtención de etanol, vinagre, lácteos, suplementos y aditivos, algunas variedades de cerveza.

Bacteria	Patología que produce
<i>Staphylococcus aureus</i>	Produce exotoxinas (síndrome de la piel escaldada, gastroenteritis, etc.)
<i>Neisseria gonorrhoeae</i>	Gonorrea
<i>Escherichia coli</i>	Diarrea, infecciones en las vías urinarias y meningitis
<i>Haemophilus influenzae</i>	Infecciones en vías respiratorias y oído; meningitis
<i>Treponema pallidum</i>	Sífilis

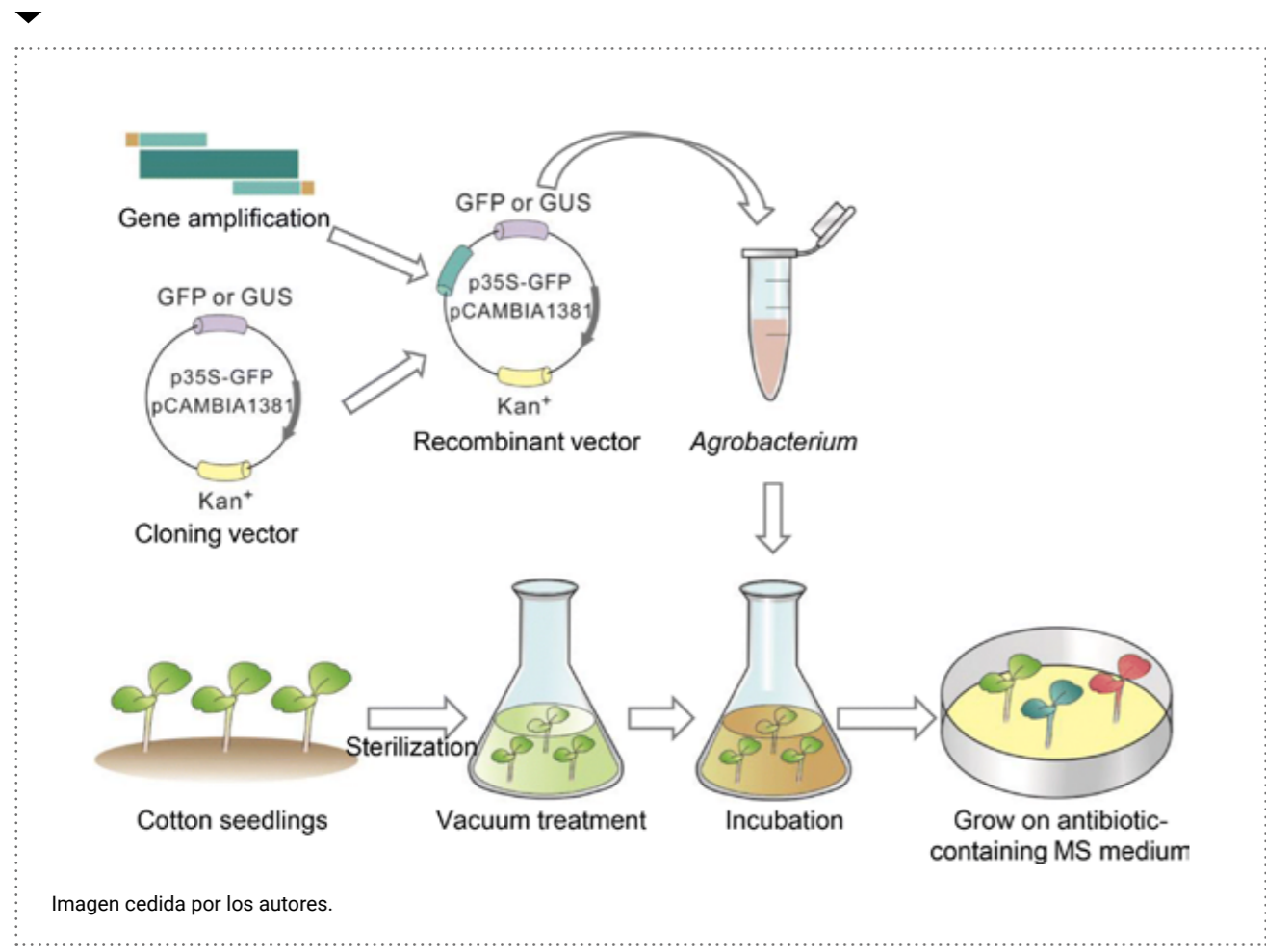
En concreto, las cianobacterias son fuente de principios activos (proteínas, vitaminas B, aceites esenciales insaturados y β -caroteno).

Por el contrario, también pueden causar perjuicios al descomponer alimentos almacenados. Se lucha mediante técnicas como salazón, deshidratación, ahumado, ebullición, pasteurización, refrigeración, congelación, etc.

Algunos ejemplos de bacterias son los siguientes:

- Acetobacterias, que son oxiibióticas y capaces de realizar la oxidación del etanol a ácido acético. Se aplican en la fabricación del vinagre y de la cerveza.

Transgénesis mediante *Agrobacterium tumefaciens* para la planta del "algodón de tierras altas" (*Gossypium hirsutum*) (Li y cols., 2018).



- Bacterias ácido-lácticas, que producen grandes cantidades de ácido láctico a partir de la fermentación de los azúcares. Se emplean como medida para conservar alimentos y elaborar productos lácteos, además de para conseguir aromas y sabores concretos. En algunas ocasiones pueden llevar a un deterioro en los alimentos debido a la producción de metabolitos que causan cambios no deseables en apariencia, textura y olor.
- Las bacterias metilótrofas, que se emplean como suplemento en los piensos animales y frente al estrés abiótico y biótico de las plantas.

Asimismo, en la industria farmacéutica, los principales productos obtenidos por la acción de bacterias son los antibióticos, vacunas, enzimas, hormonas, etc. Y también existen productos químicos de interés que las bacterias son capaces de sintetizar, como la acetona, dihidroxiacetona, butanol, dextrano, alcohol etílico, etc. Las cianobacterias sirven para obtener biocombustibles, a la vez que pueden actuar como sumideros de

CO₂ para paliar el calentamiento global. Se pueden emplear bacterias para la descontaminación y depuración (ej.: *Desulfovibrio* se puede emplear como descontaminante ante vertidos de petróleo). Finalmente, también se pueden emplear en la fabricación de biopolímeros.

Desde el punto de vista de la investigación básica

Debido a su simplicidad estructural, y fácil y rápido cultivo, son idóneas en este sentido (en especial *E. coli*).

Han tenido importancia en experimentos con el ADN (localización de genes, replicación, transcripción y traducción...). La llegada de la tecnología del ADN recombinante abrió posibilidades nuevas a la producción de sustancias útiles por los microorganismos. También para la mejora en las fermentaciones industriales.

En Ingeniería Genética, y dentro de la industria farmacéutica (como ya se ha comentado), también se emplean bacterias para generar antibióticos, hormonas, vacunas, etc. Igualmente, en procesos de transgénesis, donde se utilizan bacterias modificadas capaces de transferir cualquier secuencia, siempre y cuando dicha secuencia se localice en una región determinada del genoma bacteriano (ej.: *Agrobacterium tumefaciens*).

Isabel Mauriz Turrado
Universidad de Oviedo

Claudio Yepes del Álamo
Laboratios Menarini

José Manuel Martínez Pérez
I.E.S. "La Quintana" (Asturias)
Universidad de León

BIBLIOGRAFÍA

- Alberts, B. y cols. (2004): "*Biología molecular de la célula*". Ed. Omega, Barcelona.
- Becher, P.G.; Beuchat, J., Gademann, K. y Jüttner, F. (2005): "Nostocarboline: Isolation and synthesis of a new cholinesterase inhibitor from *Nostoc* 78-12A", en *J. Nat. Prod.* 68, 1793.
- Brenner, D.J.; Krieg, N.R. y Staley, J.T. (2005): "*Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*". Ed. Springer-Verlag, Nueva York.
- Cooper, G.M. (2002): "*La célula*". Ed. Marbán, Madrid.
- Curtis, H. y cols. (2008): "*Biología*". Editorial Médica Panamericana, Madrid.
- De Robertis, E.D.P. y De Robertis, E.M.F. (1996): "*Biología celular y molecular*". Ed. El Ateneo, Buenos Aires.
- Kurr, M. y cols. (1991): "*Methanopyrus kandleri*, gen. and sp. nov. represents a novel group of hyperthermophilic methanogens, growing at 110°C", en *Arch. Microbiol.* 156, 239.
- Li, H.; Li, K.; Guo, Y.; Guo, J.; Miao, K.; Botella, J.R.; y cols. (2018): "A transient transformation system for gene characterization in upland cotton (*Gossypium hirsutum*)", en *Plant Methods* 14, 50.
- Madigan, M.T. y cols. (2009): *Brock. Biología de los Microorganismos*". Ed. Pearson, Madrid.
- Margulis, L. (1970): "*Origin of eukaryotic cells: evidence and research implications*". Yale University Press.
- Margulis, L. y Schwartz, K. (1985): "*Cinco Reinos. Guía de los Phyla de la vida*". Ed. Labor, Barcelona.
- Mauriz Turrado, I. y cols. (2021): "Consideraciones históricas sobre los virus y las bacterias", en *XXVI Congreso Nacional y XVII Iberoamericano de Historia de la Veterinaria*, pp. 147.
- Peleato Sánchez, M.L. (2011): "*Las cianobacterias: Cooperación versus competencia*". Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas, Químicas y Naturales de Zaragoza.
- Takai, K. y cols. (2008): "Cell proliferation at 122°C and isotopically heavy CH₄ production by a hyperthermophilic methanogen under high-pressure cultivation", en *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 105, 10949.