

# Las cianobacterias: morfología y reproducción

<b>Apellidos, nombre</b>	Ferriol Molina, María (mafermo@upvnet.upv.es)
<b>Departamento</b>	Ecosistemas Agroforestales
<b>Centro</b>	Universitat Politècnica de València

## Resumen de las ideas clave

Las cianobacterias son organismos procariotas que surgieron hace unos 3500 millones de años, capaces de realizar una fotosíntesis con producción de oxígeno, como los organismos eucariotas autótrofos. Presentan células con pared compuesta de mureína, ADN libre y tilacoides que contienen clorofila a. Contienen además otros pigmentos. El principal producto de almacenamiento es el almidón de cianofitas, aunque también pueden almacenar cianoficina, polifosfatos y lípidos. Las cianobacterias aparecen como organismos unicelulares, o bien forman colonias o filamentos, que pueden ser simples o tener ramificaciones falsas o verdaderas. Algunas células son capaces de diferenciarse en heterocistos (células especializadas en la fijación de nitrógeno atmosférico) o acinetos (estructuras de resistencia condiciones desfavorables). La reproducción de las cianobacterias es asexual. Las formas unicelulares se reproducen por bipartición, mientras que las filamentosas pueden fragmentarse y formar hormogonios. Algunas especies pueden también esporular.

## Objetivos

Una vez que el estudiante lea con detenimiento este documento, será capaz de:

- Nombrar las características principales y los componentes de las células de cianobacterias.
- Describir los niveles de organización de las cianobacterias
- Explicar las formas de reproducción de las cianobacterias.

## Introducción

Las cianobacterias, cianofitas, o algas verde-azuladas, son organismos procariotas. La mayoría de procariotas son heterótrofos, aunque algunos son autótrofos capaces de fotosintetizar, como las eubacterias que contienen bacterofila y que no desprenden oxígeno durante la fotosíntesis. En cambio, las cianobacterias son los únicos procariotas capaces de llevar a cabo una fotosíntesis oxigénica como la de las plantas terrestres al disponer de fotosistemas y clorofila a, que utilizan para captar la luz y generar energía al transformar dióxido de carbono y agua en glucosa, formando oxígeno como subproducto. De hecho, la teoría de la endosimbiosis, aceptada hoy en día, asume que los cloroplastos de las células eucariotas derivan de cianobacterias.

Esta capacidad fotosintética provocó el primer pico de oxígeno libre de la atmósfera terrestre hace unos 2400 millones de años, después de que aparecieran las cianobacterias hace 3000 a 3500 millones de año, en el periodo Precámbrico. La atmósfera cambió sus condiciones de reductoras a oxidativas, y esta nueva composición favoreció el desarrollo de las algas eucariotas, que a su vez fueron las causantes de un segundo pico de oxígeno en la atmósfera que permitió la evolución de nuevos organismos.

Las algas procariotas incluyen una única división, llamada Cyanophyta, Cyanobacteria o Cyanoprokaryota. Se conocen unos 150 géneros que comprenden unas 2000 especies.

En este artículo docente, se trata la biología general de las cianobacterias, considerando sus componentes celulares, niveles de organización y morfología, y reproducción.

## Desarrollo

### 1.1.Las células de las cianobacterias

Al igual que el resto de procariotas, las cianobacterias carecen de un núcleo definido y orgánulos rodeados por membranas como los cloroplastos, las mitocondrias o el aparato de Golgi. En cambio, tienen las células 5 a 10 veces más grandes que el resto de bacterias.

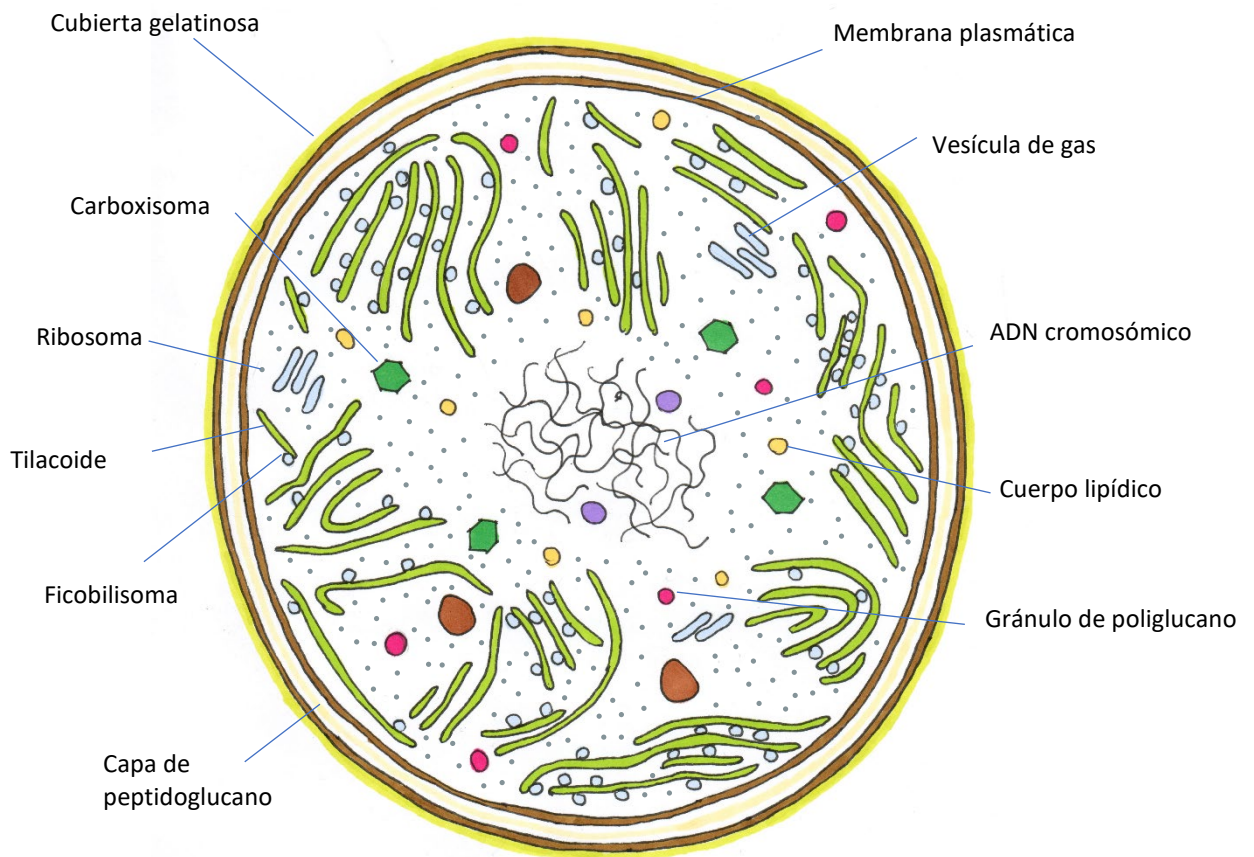
La pared celular de las cianobacterias consta de cuatro capas y se compone principalmente de mureína o peptidoglucano, lo que les da rigidez y protección. En muchas especies, la pared celular está cubierta por una capa gelatinosa de polisacáridos, conocida como mucílago, que ayuda en la flotación y protege a la cianobacterias contra la desecación (Imagen 1). La celulosa falta en general, salvo en los heterocistos, células especializadas en la fijación de nitrógeno atmosférico.

Por debajo de la pared celular se encuentra la membrana plasmática, compuesta por dos capas de lipoproteínas, encargada de regular el intercambio de sustancias entre el interior y el exterior de la célula.

El ácido desoxirribonucleico (ADN), componente básico del material genético, está presente en el centro de la célula en una zona llamada nucleoplasma o centrosplama que aparece sin color cuando se observa la célula de cianobacteria con el microscopio. El ADN puede tener forma de gránulos, bastoncillos, retículos o filamentos. También tienen plásmidos (pequeñas moléculas de ADN adicionales) que pueden portar genes útiles para la supervivencia en ambientes extremos.

Alrededor del centrosoma, sin límites precisos, se localiza el cromatoplasma, muy viscoso y coloreado al microscopio, y que carece de circulación, a diferencia del citoplasma de las células eucariotas. Contiene ribosomas distribuidos de modo difuso. Éstos son del tipo 70S, típicos de las células procariotas, y son responsables de la síntesis de proteínas. En el cromatoplasma, las cianobacterias tienen también un sistema de membranas internas que forman unas estructuras llamadas tilacoides, donde ocurre la fotosíntesis. Los tilacoides aparecen solitarios en la mayoría de las especies y a veces forman granas. En su interior se localiza la clorofila a, responsable de captar la luz solar. Poseen además pigmentos fotosintéticos adicionales que amplían el rango

de luz absorbida, como carotenoides (sobre todo beta-caroteno) y ficobiliproteínas o ficobilinas (ficocianina que es preponderante y que proporciona color azul, y ficoeritrina color rojo). Éstas últimas están incluidas en ficobilisomas, unidos a los tilacoides. Tanto la clorofila a como los pigmentos accesorios dan a las células su característico color verdeazulado.



*Imagen 1. Esquema de una célula de cianobacteria con sus componentes*

El cromatoplasma contiene también productos de almacenamiento, como los gránulos de poliglucano o almidón de cianofitas, que es un carbohidrato más similar al glucógeno que al almidón vegetal. Estos gránulos no son visibles al microscopio. Otros productos son los gránulos de cianoficina (polímeros de asparagina y arginina) que acumulan nitrógeno. Aparecen también en ocasiones gránulos de polifosfatos y cuerpos lipídicos.

Las cianobacterias pueden poseer además otras estructuras especializadas. Los carboxisomas, o cuerpos polihédricos, contienen enzimas para la fijación de dióxido de carbono durante la fotosíntesis. Por su parte, las vesículas de gas permiten el control

de la flotación de las células en ambientes acuáticos, ayudando a regular su posición en la columna de agua y optimizando la captura de luz y nutrientes.

## 1.2. Niveles de organización y células diferenciadas

Las cianobacterias pueden aparecer en distintos niveles de organización. Hay formas unicelulares, coloniales y filamentosas (Imagen 2). Las colonias son cenobios, o conjuntos de células originadas por divisiones mitóticas que permanecen unidas por el mucílago que producen o por la pared celular originaria. Se consideran una forma intermedia entre organismo unicelular y pluricelular. Las formas filamentosas pueden ser simples o presentar falsas ramificaciones o verdaderas ramificaciones. Las falsas ramificaciones se originan por la rotura de segmentos del filamento, la degeneración de alguna célula intermedia o la aparición de discos de separación bicóncavos, mientras que las verdaderas ramificaciones proceden del cambio del plano de división celular de filamentos multiseriados.

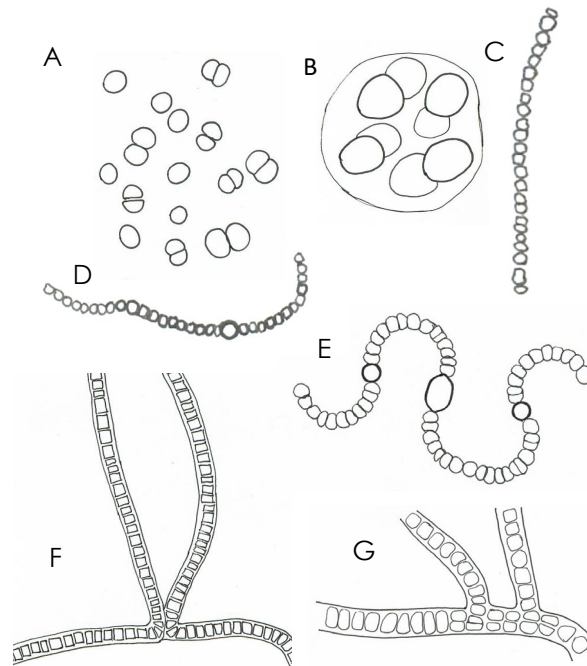


Figura 2. Morfología de algunas cianobacterias. A. Unicelulares del género *Chroococcus*. B. Colonia de *Aphanothece*. C. Filamento de *Gloeocapsa*. D. Filamento con heterociste de *Nostoc*. E. Filamento con dos heterocistes y un acineto de *Anabaena*. F. Filamentos con falsa ramificación de *Scytonema*. G. Filamento con verdadera ramificación de *Stigonema*.

En algunos casos, los filamentos tienen células diferenciadas que pueden ser de dos tipos: heterocistos y acinetos. Los heterocistos son células más grandes, despigmentadas, con pared engrosada, capaces de fijar el nitrógeno atmosférico libre y cedérselo a las células vecinas a través de canales citoplasmáticos. Los heterocistos pueden aparecer en la base del filamento o intercalados entre las células del filamento. Por su parte, los acinetos son células de paredes gruesas que acumulan sustancias de reserva (principalmente gránulos de cianoficina), y actúan como estructura de resistencia en condiciones desfavorables, como sequía, falta de nutrientes o temperaturas extremas. Estas células pueden aguantar mucho tiempo hasta que se restablecen las condiciones favorables para su crecimiento, cuando germinan y originan un nuevo organismo. Los acinetos sólo aparecen en aquellas cianobacterias que también producen heterocistos.

No se conocen cianobacterias con cilios o flagelos, por lo que no pueden desplazarse con facilidad en el medio acuoso. Sin embargo, muchas especies, generalmente filamentosas, pueden moverse por reptación sobre sustratos sólidos pero húmedos.

### 1.3.Reproducción

Las cianobacterias se reproducen de manera asexual, lo que es típico de los organismos procariotas. No se conoce reproducción sexual ni recombinación genética como las que ocurren en los organismos eucariotas.

En organismos unicelulares, las células se reproducen típicamente por bipartición. En la célula madre, el ADN se replica dando lugar a dos copias idénticas. La célula madre se alarga y se constriñe dividiendo la célula en dos, cada una con una copia del ADN. Este proceso es muy rápido y eficiente en condiciones favorables, lo que permite una rápida colonización del medio.

Algunas cianobacterias filamentosas, como las de los géneros *Anabaena* y *Oscillatoria*, se reproducen por fragmentación. El filamento puede romperse en fragmentos no específicos o formar hormogonios, que son pequeños segmentos móviles incluidos en la envoltura del fragmento original, que acaban separándose de él y creciendo hasta formar nuevos filamentos completos. Las colonias también pueden fragmentarse.

Algunas cianobacterias forman endosporas esféricas mediante mitosis, que pueden dispersarse y germinar. Otras especies son capaces de generar exosporas originadas por estrangulación sucesiva de una célula madre. La producción de esporas resistentes asegura su persistencia en condiciones adversas y ambientes extremos.

## Cierre

A lo largo de este objeto de aprendizaje hemos visto cómo son las células de cianobacterias, qué morfología tienen los organismos de cianobacterias, y cómo se reproducen. El nivel de organización aquí explicado es la base de la sistemática, que coincide sólo parcialmente con los hallazgos recientes moleculares y filogenéticos. Así, el orden Chroococcales incluye formas unicelulares, cenobios sencillos y cortos filamentos no ramificados. Las especies del orden Oscillatoriales forman segmentos no ramificados, sin heterocistos ni acinetos. El orden Nostocales comprende especies que forman filamentos no ramificados o con falsas ramificaciones, que pueden tener acinetos y heterocistos. Por último, el orden Stigonematales incluye especies con filamentos multiseriados y con ramificaciones verdaderas, en los que a veces aparecen heterocistos y acinetos.

## Bibliografía

- Aguilera A, Echenique RO. 2011. Consideraciones generales de Cyanobacteria: aspectos ecológicos y taxonómicos. En: Hansen, M. (Compilador). *Cianobacterias como determinantes ambientales de la salud*. Universidad Nacional de la Plata. Ed. Ministerio de Salud de la Nación. pp 21-40.
- Izco, J. (Coord.). "Botánica". 2ª edición. McGraw Hill-Interamericana, Madrid, 2010.
- Sitte, P., Weiler, E.W., Kadereit, J.W., Bresinsky, A., Korner, C. "Strasburger. Tratado de Botánica." 35ª edición. Omega, Barcelona, 2003.