Las bacterias y nosotros, tan diferentes... y tan parecidos

Mitos y verdades de las diferencias entre eucariotas y procariotas

María Julia Pettinari

Laboratorio de Biotecnología Ambiental y Ecología Bacteriana, Departamento de Química Biológica. FCEyN- UBA. Intendente Güiraldes 2160. Pab 2, piso 4, lab QB-30 (C1428EGA) Buenos Aires, Argentina

jul@qb.fcen.uba.ar

Recibido: 5 de abril de 2010

Aceptado: 12 de abril de 2010

Resumen

Desde que Stanier y Van Niel propusieron la utilización de los términos procariota y eucariota para diferenciar a las células con núcleo rodeado de membrana nuclear de aquellas que no poseen esta estructura, el conocimiento que tenemos de los diferentes tipos de células presentes en los organismos vivos ha aumentado enormemente. En particular, el estudio de la información genética y los análisis filogenéticos basados en estos estudios permiten observar grandes diferencias entre organismos pertenecientes al grupo de los procariotas, que han llevado a definir dos dominios dentro de este grupo (*Bacteria* y *Archaea*), y otro conteniendo a los eucariotas (*Eukarya*). En este trabajo se analizan las diferencias y similitudes entre los organismos de los diferentes dominios, teniendo en cuenta diferentes aspectos o criterios, y los cambios que éstos sufrieron a lo largo del tiempo.

The bacteria and us...so different and yet so similar

Myths and truths about the differences between eukaryotes and prokaryotes

Summary

Since Stanier and Van Niel proposed the use of the terms eukaryote and prokaryote to differentiate cells containing a membrane-bound nucleus from those devoid of this structure, knowledge of the different kinds of cell types present in live organisms has increased enormously. In particular, the study of genetic information and phylogenetic analysis based on these studies show big differences among prokaryotic organisms that have led to the definition of two distinct domains inside this group (*Bacteria* and *Archaea*) and another domain that contains eukaryoytic organisms (*Eukarya*). In the present work the differences and similarities between organisms belonging to the different domains are analyzed, focusing on different aspects or criteria, and how they changed with time.

El origen de los términos "procariota" y "eucariota"

Desde que nos comunicamos, los hombres necesitamos ponerle nombre a todo lo que nos rodea, incluyendo por supuesto a los seres vivos. A medida que los métodos de estudio fueron evolucionando y la cantidad de organismos conocidos se hizo mayor, los criterios utilizados para clasificarlos y los grupos en los que se incluyeron los diferentes organismos fue cambiando.

Los diferentes criterios de clasificación de los seres vivos a través de la historia han sido analizados en un artículo aparecido en QuimicaVIva en septiembre de 2005.

http://www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar/V4n2/arboldelavida.html

En un principio, clasificamos lo que nos rodea en "reinos": vegetal para las plantas, animal para los animales, y mineral para lo inanimado.

A medida que se profundizó el conocimiento de los seres vivos gracias a la aparición de nuevas tecnologías, como los microscopios, y, sobre todo, que empezaron a conocerse organismos que no encajaban bien en los conceptos de "planta" o "animal", fue necesario aumentar el número de categorías. Así surgió una nueva categoría para los organismos no-planta-no-animales, que aparecen en un árbol filogenético primitivo presentado por Ernst Haeckel en 1866 como un nuevo grupo, los protistas, en el que se incluía a las bacterias, los protozoarios, esponjas, algunas algas y hongos.

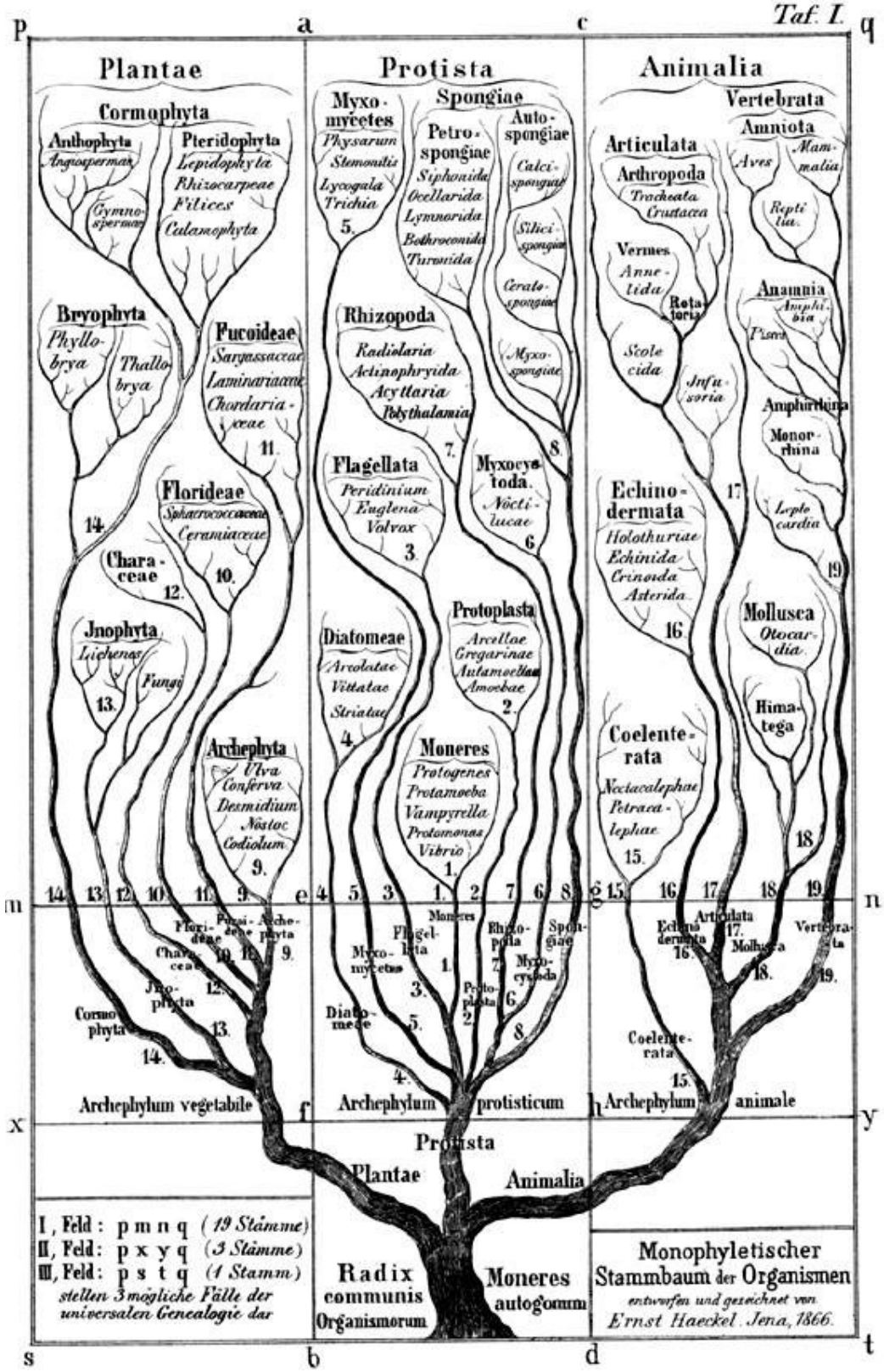


Figura 1. Árbol de la vida propuesto por Haeckel, en 1866, en base a los estudios de microscopía que lo llevaron a crear un nuevo grupo, los protistas.

Más adelante, al descubrirse una mayor cantidad de organismos microscópicos y observarse sus diferencias estructurales, se pudieron distinguir diferentes tipos celulares, y en los años 60, los célebres microbiólogos Stanier y Van Niel (Stanier y Van Niel 1962) propusieron un nuevo criterio divisorio basado en dos tipos básicos de células: las poseedoras de un núcleo celular, conteniendo al material genético rodeado por una membrana, fueron denominadas eucariotas o **eucariontes** (palabra compuesta a partir del griego antiguo εῦ *eu* ="bueno", "bien") y κάρυον *karyon* ="nuez", "carozo", "núcleo") , y las que carecían de esta estructura, procariotas o procariontes (del griego πρό, *pro* = antes de y κάρυον, *karion* = núcleo).

Esta terminología respondía a los criterios evolutivos imperantes de esa época, ya que se pensaba que los procariotas, representados por las bacterias, eran más primitivos (por ello se utilizaba el prefijo "pro"), y habían dado origen a los eucariotas, más evolucionados. Este criterio divisorio fue rápidamente adoptado, ya que se ajustaba a criterios que parecían ser inamovibles, vinculados a profundos cambios evolutivos. Sin embargo, menos de 20 años después un cambio de paradigma en los estudios evolutivos cuestionó seriamente la división entre procariotas y eucariotas. Los trabajos de Woese, quien propuso la utilización de la secuencia de la subunidad pequeña del ARN ribosomal para realizar estudios evolutivos, pusieron en evidencia que dentro de los procariotas, que se pensaba que formaban un grupo monofilético (con un único origen evolutivo) y claramente diferenciado de los eucariotas, se encontraban dos grupos tan diferentes entre sí en muchos aspectos como de los eucariotas. A partir de estos estudios se propuso un nuevo sistema de clasificación, basado ahora en tres dominios: dos dominios de procariotas: *Bacteria* y *Archaea*, y uno de eucariotas: *Eukarya* (Woese y Fox, 1977).

Hubo muchas discusiones acerca de la conveniencia de seguir utilizando la denominación de eucariotas y procariotas, pero hasta ahora se siguen empleando.

¿Cuáles son las diferencias principales entre eucariotas y procariotas?

El más desarrollado de nuestros sentidos es sin duda la vista. Debido a ello, le damos la mayor importancia a las características de las cosas que podemos distinguir con este sentido. Entre ellas están la forma, el color, y el tamaño, todas propiedades que se denominan morfológicas y que tienen un peso muy importante en cualquier tipo de clasificación.

Afirmación nº1:

Las células eucariotas tienen un núcleo rodeado de una membrana nuclear, las procariotas no.

Esta afirmación es verdadera, y en esta característica se basa justamente la nomenclatura.

Afirmación nº2:

Los procariotas tienen un cromosoma circular único y desnudo, los eucariotas tienen varios cromosomas lineales recubiertos por proteínas específicas. ¿Verdadero? No siempre.

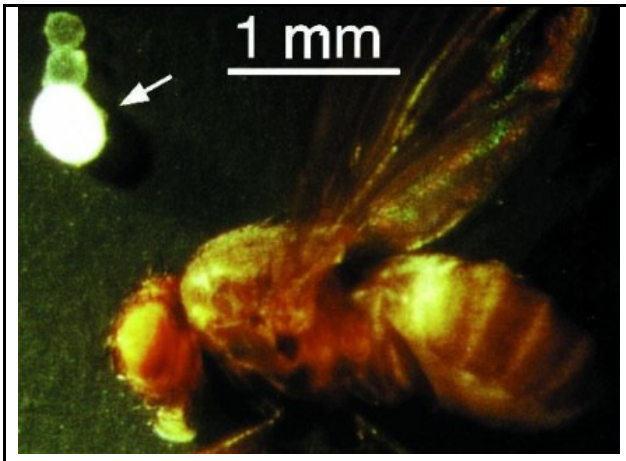
A medida que se han conocido más organismos procariotas, se ha encontrado una gran diversidad en cuanto a la estructura de sus cromosomas. Se han descripto procariotas con varios cromosomas, y muchos con cromosomas lineales, característicos de grupos de bacterias como los *Streptomyces*, utilizados para la producción de antibióticos. Por otro lado, se han descubierto numerosas proteínas asociadas a los cromosomas bacterianos. Sin embargo, la mayoría de las bacterias y *arqueas* tienen un cromosoma circular, y las proteínas asociadas a estos cromosomas son diferentes de las de los cromosomas eucariotas.

Afirmación nº3:

Los eucariotas son grandes, los procariotas pequeños

¿Verdadero? ¡No!

Muchas veces utilizamos el término microbios para referirnos a los seres vivos de tamaño microscópico, es decir, aquellos que no podemos ver sin la ayuda de un microscopio. Entre los microbios hay tanto organismos procariotas como eucariotas. Entre los numerosísimos microbios eucariotas encontramos algunas algas, protozoos y hongos, la mayoría unicelulares. Las bacterias y las *arqueas* normalmente son microbios, y, salvo contadas excepciones, son invisibles al ojo desnudo, ya que sus tamaños son del orden de unos pocos micrones. Hay, sin embargo, algunas bacterias gigantes que pueden verse a simple vista, como *Thiomargarita* o *Epulopiscium*. (Figura 2)



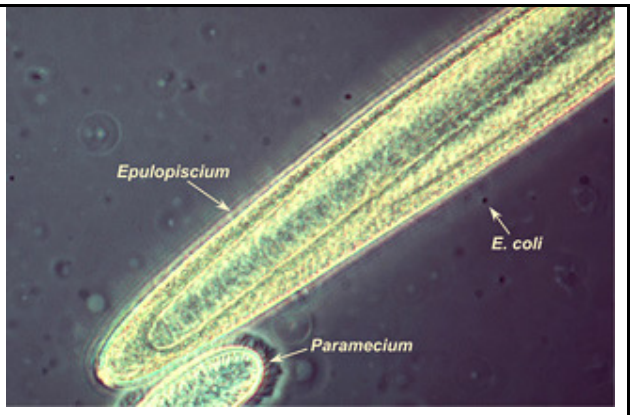


Figura 2. Bacterias gigantes.

En la fotografía de la izquierda se observan 3 células de *Thiomargarita namibiensis* (la flecha señala la mayor de ellas, que mide casi 1 mm) en comparación con una mosca de la fruta (*Drosophila melanogaster*). En la fotografía de la derecha se observa una vista parcial de una célula de la bacteria *Epulopiscium fischelsoni*. En esta foto se puede comparar su tamaño con el de una célula bacteriana típica (*Escherichia coli*) y , con un eucariota unicelular (*Paramecium caudatum*)

Afirmación nº4:

Los procariotas son una "bolsa de enzimas", sin organización interna.

¡Falso!

Con respecto de la organización interna, una de las principales diferencias entre las células eucariotas y las procariotas es que las primeras tienen organelas tales como las mitocondrias donde se llevan a cabo procesos que en las células microbianas se realizan en el citoplasma o en la membrana celular. Sin embargo, existen muchos procesos celulares bacterianos que se llevan a cabo en estructuras de membrana complejas, tales como la oxidación de compuestos de nitrógeno, o la fotosíntesis. Por otro lado, cada vez se tienen más datos acerca del citoesqueleto de los procariotas, y se descubre una compleja organización interna, con microtúbulos y microfilamentos que permiten que los procesos de división de los componentes celulares se realicen de forma ordenada, de manera que todas las células resultantes de la división tengan los componentes necesarios.

Afirmación nº5:

La especialización y organización multicelular es exclusivo de los eucariotas.

¡Falso!

La mayoría de las bacterias pueden crecer formando colonias que son visibles a simple vista. Estas colonias tienen formas y estructuras características, que pueden cambiar según las condiciones de crecimiento. Las colonias están formadas por muchas células individuales, que crecen de manera ordenada para dar como resultado una forma particular. También existen grupos de bacterias filamentosas que forman micelios similares a los de los hongos, que llegan a tamaños apreciables (¡pero sin núcleos!). Por último, existen grupos de bacterias capaces de formar estructuras multicelulares complejas, tales como los cuerpos de fructificación, que involucran un grado de organización y comunicación complejo.

En la naturaleza, las bacterias que crecen sobre superficies forman comunidades estratificadas complejas denominados biopelículas (biofilms en inglés), que requieren la formación de gruesas estructuras surcadas por canales que permiten que los nutrientes lleguen a todas las células. Se sabe que las bacterias se comunican para formar los diferentes tipos de estructuras, con sistemas que involucran la emisión y recepción de estímulos químicos, denominados “quorum sensing”.

Figura 3. Colonias de diferentes especies de bacterias del género *Paenibacillus* (izquierda: *P. dendritiformis*, centro y derecha: *P. vortex* en dos medios de cultivo diferentes) Fuente: Science news online

Afirmación nº 6:

Los procariotas no tienen sexo. ¿Cierto?

Los eucariotas tienen diversos tipos de reproducción. En la mayoría de los animales y las plantas la reproducción es sexual, pero hay grupos de eucariotas, como los hongos, en los cuales hay tanto reproducción sexual como asexual.

Tradicionalmente se considera que los procariotas son organismos asexuados. El resultado de la sexualidad es el intercambio de información genética entre individuos, que aumenta la diversidad genética de una población. A partir de los experimentos realizados por Tatum y Lederberg en 1946, sabemos que las bacterias realizan intercambio de material genético y recombinación, que permiten aumentar la diversidad genética. Se sabe que hay diferentes mecanismos de intercambio, algunos de los cuales involucran elementos genéticos que se transfieren de un organismo dador (macho) a un organismo receptor (hembra).

Diferencias entre bacterias, *arqueas* y eucariotas

En general hay mucha mayor diversidad metabólica en los procariotas que en los eucariotas, ya que los primeros pueden obtener energía de un gran número de compuestos químicos, tanto orgánicos como inorgánicos. Por otra parte, la diversidad morfológica es mucho mayor entre los eucariotas. Con respecto de las reacciones metabólicas de síntesis y degradación de macromoléculas y otros procesos celulares, hay muchas en las cuales hay grandes similitudes entre los sistemas encontrados en bacterias y *arqueas*, pero hay otras en las cuales las similitudes entre *arqueas* y eucariotas son mayores que entre *arqueas* y bacterias. También hay reacciones y caminos metabólicos que sólo se han descripto en uno de los dominios, y no en los otros.

La información genética (secuencia de ADN) de los organismos determina todas sus características. Cuanto más cercanos filogenéticamente están los organismos, más similares son sus genomas. Las clasificaciones modernas tienen en cuenta las relaciones filogenéticas (relaciones de parentesco) entre los organismos. Comparando los genomas de diferentes organismos podemos determinar cuán cercanos o lejanos están evolutivamente. En el caso de los genomas, también se observan grandes diferencias entre las *arqueas* y las bacterias, tan grandes como las que existen entre estos grupos y los eucariotas.

Por ejemplo, los ribosomas de las *arqueas*, si bien son pequeños como los de las bacterias, son más similares estructuralmente a los de los eucariotas que a los de las bacterias, y lo mismo ocurre con otras estructuras y mecanismos asociados a la síntesis de proteínas.

Si se tienen en cuenta estos y otros criterios bioquímicos y moleculares, las diferencias entre bacterias y *arqueas* son tan profundas como las diferencias entre cada uno de estos dominios y los

eucariotas, pero sin embargo consideramos, principalmente por criterios morfológicos, que es correcto agrupar a los dominios Bacteria y Archaea en un grupo único: los procariotas.

En conclusión, sabemos que hay eucariotas típicos y procariotas típicos, ya que nadie puede dudar que una vaca es un eucariota y *Escherichia coli* es un procariota, pero cada día hay más organismos que desafían nuestro afán de poner todo en esta tierra en compartimentos definidos y estancos. A medida que conocemos más acerca de los seres vivos que comparten este planeta, se nos complica más colocarles las etiquetas que nos permitan ubicarlos en el lugar que les corresponde en nuestro catálogo de la vida.

¿Y los virus? Dependiendo del criterio que se utilice para definir la vida, hay quienes consideran que son seres vivos y quienes no, pero eso ya es otra historia...

Bibliografía

Brown, James R. & W. Ford Doolittle. 1997. *Archaea* And The Prokaryote-To-Eukaryote Transition. Microbiology And Molecular Biology Reviews, 6: 456–502

Sapp, Jan. 2005. The Prokaryote-Eukaryote Dichotomy: Meanings and Mythology. Microbiology And Molecular Biology Reviews, 69: 292–305

Stanier, R. Y., & C. B. van Niel. 1962. The concept of a bacterium. Archives of Mikrobiology. **42:**17–35.

Woese, C. R., and G. E. Fox. 1977. Phylogenetic structure of the prokaryotic domain: the primary kingdoms. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. **74**: 5088-5090

QuímicaViva
ISSN 1666-7948
www.quimicaviva.qb.fcen.uba.ar

Revista QuímicaViva
Número 1, año 9, abril 2010
quimicaviva@qb.fcen.uba.ar