

las cianobacterias fotosintéticas forman realmente un grupo coherente, al igual que las espiroquetas y afines, caracterizados por su forma de tirabuzón y las proyecciones a modo de flagelo que las impulsan.

Por último, mencionaremos que otra de las clasificaciones tradicionales incluye la diferencia entre las bacterias "gram positivas" y las "gram negativas". Estas categorías nacieron del trabajo del bacteriólogo danés Hans Christian Gram, quien mostró en 1884 que si se tiñen bacterias y luego se tratan con un disolvente como alcohol o acetona, algunas (las gram positivas) retienen el colorante mientras que otras (las gram negativas) lo pierden y se blanquean. Hoy se sabe que esta diferencia refleja distinciones profundas en la estructura de la pared celular. Esta diferenciación resulta incompleta, sobre todo a raíz de nuevos estudios que ponen en evidencia que la clasificación anterior es equivalente a que los zoológicos hubieran clasificado los animales en "aves" y "el resto". Las aves formarían un grupo coherente, pero los que no son ornitólogos quizá resintieran que se hubiera pasado por alto la distinción entre ostras y gorilas. Con todo, y debido a sus utilidades prácticas en los laboratorios clínicos, la distinción entre gram positivas y negativas tiene una gran aplicación y se sigue utilizando como una prueba bacteriológica común.

Actualmente, y gracias a las técnicas de estudio de los metagenomas, los biólogos disponen ya de información básica para explorar el árbol derivado de los estudios de ADN y ARN de procariotas realizados por Carl Woese. El árbol muestra los tres dominios de la vida. Hay que destacar que *Archaea* es el grupo hermano de *Eucarya*, mientras que *Bacteria*, es el grupo hermano de *Archaea* + *Eucarya*. Es difícil decir cuántos reinos hay en el dominio de las bacterias, por al menos tres razones: 1) la definición de "reino" es un tanto arbitraria; 2) los biólogos que están revisando la clasificación de los procariotas, a menudo tienden a rechazar enteramente los rangos linneanos (al igual que muchos sistemáticos modernos) y no se toman en serio la cuestión de los rangos, y 3) los estudios de nuevos ecotipos —por ejemplo,

los termófilos—, y los métodos moleculares de estudio, están abriendo paso al desarrollo de áreas de investigación muy vastas.

III. Actividades

1. Pida a los alumnos que identifiquen al menos 20 conceptos claves de la lectura, los desarrollen en forma de glosario y luego los incluyan en un mapa de conceptos.
2. ¿Qué diferencias hay entre el dominio *bacteria* y el dominio *archaea*?
3. Elaborar una investigación grupal en la que, por trabajo de equipo, se comuniquen y complementen la información sobre los reinos de las bacterias: protobacterias (alfa, beta, gamma, delta), *Planctomyces* y *Chlamydiae*, espiroquetas, bacteroides, flavobacterias, bacterias verdes del azufre, gram positivas, gram negativas, cianobacterias, termotogales, *aquifex* e *hydrogenobacter*.
4. Elaborar una investigación semejante para los reinos de las arqueas (euriarqueotas, crenarqueotas, coriarchieotas).
5. Establecer las relaciones entre los dominios *Archaea*, *Eucarya* y *Bacteria*.

IV. Bibliografía

Tudge, Colin, *La variedad de la vida*, Editorial Crítica-Oxford University Press, Barcelona-Londres, 2001.

Curtis, Helena, *Biología*, Editorial Médica Panamericana, 6ta. edición, España, 2001.

Esperamos sus comentarios y sugerencias, que pueden hacer con atención a: Rosa María Catalá, al teléfono 56227297, fax 54 24 01 38, correo electrónico: comoves@universum.unam.mx

Los profesores pueden copiar esta guía para su uso en clase. Para cualquier otro uso es necesaria la autorización por escrito del editor de la revista.

Diciembre 2004

La metagenómica

(No. 73, p. 22)

De: Miguel Ángel Cevallos

Maestros:

Esta guía se ha diseñado para que un artículo de cada número de *¿Cómo ves?* pueda trabajarse en clase con los alumnos, de modo que se adapte a los programas de ciencias naturales y a los objetivos generales de estas disciplinas a nivel bachillerato. Esperamos que la información y las actividades propuestas sean un atractivo punto de partida o un novedoso "broche de oro" para dar un ingrediente de motivación adicional a sus cursos.

I. Relación con los temarios del bachillerato UNAM

Esta guía pueden utilizarla maestros de biología y de química orgánica, de manera simultánea o por separado, ya que los temas considerados resultan de interés para las dos áreas dada la trascendencia de la bioquímica implicada en los procesos microecológicos descritos.

II. Más información

En esta ocasión el artículo de referencia nos lleva al descubrimiento de todo un nuevo espectro de especies que empezamos a conocer en detalle, y de las cuales, por lo mismo, apenas se ha iniciado el proceso de su clasificación sistemática. Esos millones de bacterias que pueden vivir en tan sólo un decímetro cúbico de tierra, están encontrando, poco a poco, un lugar ordenado

en la taxonomía, y es por ello que esta guía inicia con una reflexión sobre la importancia de clasificar para los biólogos en particular y la ciencia en general.

La necesidad de clasificar y buscar un orden

Todo lo que vive necesita reconocer la existencia de otros organismos —para alimentarse de ellos, ahuyentarlos, aparearse, etc.—. Además todos necesitan distinguir entre diferentes tipos de organismos, al menos de forma aproximada: el nocivo del inocuo, el comestible del tóxico, la atractiva pareja potencial del peligroso depredador. Los gusanos pueden hacerlo, así como los hongos, las plantas y hasta los protistas. Las plantas alcanzan incluso a distinguir y discriminar entre especies parecidas, de modo que una flor aceptará el polen compatible y rechazará el extraño. Tal diferenciación implica la capacidad de clasificar: todo organismo coloca a sus semejantes en una categoría y a otros en otras, y responde de acuerdo con esa clasificación.

Obviamente, los organismos no precisan de conciencia para elaborar una clasificación tan elemental. La flor de una planta no piensa en qué tipo de polen le conviene, ni los hongos reflexionan sobre su aspecto para mimetizarse con el medio. Menos aún necesitan dar un nombre a las diferentes categorías de organismos que reconocen. Sólo

nosotros, los seres humanos, somos al parecer los duchos en la habilidad de desarrollar “nomenclaturas”, no sólo a nivel biológico, sino para casi cualquier actividad científica y humanística. Lo más parecido a esto es lo que realizan algunos monjes, como los babuinos de sabana, que alertan a sus vecinos cuando algún enemigo merodea por los alrededores utilizando diferentes sonidos para designar amenazas distintas: por ejemplo, un sonido de “serpiente” y un sonido de “leopardo” son diferentes. Y hasta ahí. Por supuesto, nada que ver con el sofisticado nivel de clasificación al que la conciencia del propio saber y el desarrollo del lenguaje nos han llevado hasta ahora. Esta actividad apasionante se ha hecho en una notable variedad de maneras y de acuerdo con varios criterios en función de las necesidades y predilecciones de cada grupo clasificador. A tal grado es importante la nomenclatura que hemos desarrollado, que la ciencia, también está influida por su propio lenguaje. En palabras de James Lake, de la Universidad de California, en Los Ángeles, “Las clasificaciones pueden afectar profundamente el pensamiento biológico”. En el artículo se hace referencia a varios criterios de clasificación (microbiológica, ecológica y hasta comercial de las bacterias), y es por eso importante reconocerlas ya que detrás de cada una hay también, inevitablemente, una filosofía. Todas las clasificaciones imponen una visión del mundo:

todas hacen aserciones y por lo tanto, todas establecen criterios para que se siga un esquema común.

Sin embargo, hay que distinguir bien entre clasificar y dar nombre a distintos aspectos de la naturaleza por conveniencia propia, y otro camino, muy distinto, que es el de buscar conocimiento. Desde hace muchos años se conoce la existencia de microorganismos capaces de llevar a cabo fermentaciones de utilidad para los seres humanos, pero un conocimiento más profundo de esos organ-

ismos ha llevado a su vez a formas más sutiles de explotación. Precisamente por eso, el mejor conocimiento de los microorganismos por una parte, y el desarrollo de la genética y el funcionamiento de biomoléculas como el ADN, por otra, traen consigo los beneficios, a veces desiguales, pero en general trascendentales de la biotecnología actual. El futuro es enorme y promisorio para los clasificadores de bacterias, y la de los metagenomas es una de las grandes áreas de estudio de los biólogos mexicanos y del mundo en este siglo que apenas comienza.

El dominio de los procariotas: bacterias y arqueas

Los procariotas —bacterias y arqueas—, son organismos demasiado pequeños individualmente para poderlos ver a simple vista, pero en conjunto pesan al menos 10 veces más que todos los organismos macroscópicos juntos. Habitan en nuestra piel y en nuestro intestino, y a veces, cuando estamos enfermos, en nuestros propios tejidos. Habitan en el aire, en todas las aguas del mundo, y vivas o muertas, constituyen buena parte de la sustancia de los abonos orgánicos y del suelo. Si se desterrara a todas las criaturas macroscópicas, los procariotas que sobrevivieran bastarían para revestir la Tierra, tanto los océanos como las tierras emergidas. Los elefantes necesitan un continente entero para moverse, pero los procariotas caben en cualquier lugar: un millar de bacterias típicas, puede, en principio, ponerse en fila en la punta de un alfiler; un solo gramo de suelo contiene 100 millones de individuos. Podemos decir, sin lugar a dudas, que la mayor parte de la vida en la Tierra —la mayor parte de la masa y la mayor parte de la variedad— es procariota.

Anton van Leeuwenhoek fue el primero en conocer la existencia de procariotas en el siglo XVII con la ayuda de su microscopio casero de lente único, y los llamó “pequeños animalculos”. Ellos vinieron a conocerse colectivamente como “microbios” y la moderna disciplina de la microbiología comenzó

en firme en la segunda mitad del siglo XIX, cuando el francés Louis Pasteur estudió las bacterias y las levaduras, primero en un contexto industrial (por ejemplo, para describir el proceso de cómo se agria la leche) y luego con relación a las enfermedades, desde el ántrax hasta la rabia. El médico alemán Robert Koch estableció unos postulados, en 1890, que ayudaron a establecer si, y hasta qué punto, una bacteria particular puede ser la causa de una enfermedad concreta.

La microbiología clásica ha revelado que el metabolismo de los procariotas es extremadamente variado; el abanico de estrategias de nutrición y respiración supera en mucho al de las plantas, animales y hongos conjuntamente, y en realidad, las estrategias de estas especies, evolucionaron primero en los procariotas. Como se especifica en el artículo, muchos resisten condiciones que a nosotros nos parecen extremas. Por ejemplo, algunas bacterias pueden formar paredes gruesas y producir esporas que, en algunos casos, resisten el agua hirviendo.

Entre estos tipos super resistentes se cuenta la *Clostridium botulinum*, que sintetiza la potente toxina botulínica. Muchas, como la *Escherichia coli*, pueden replicarse en 20 minutos en condiciones ideales y, si fuera posible sostener esas condiciones, podrían producir una masa superior a la de la Tierra en tan sólo tres días.

Las bacterias pueden intercambiar información genética sin las complicaciones del sexo tal como se manifiesta, por ejemplo, en animales y plantas: en particular, pueden simplemente traspasarse hebras de ADN, a menudo entre especies filogenéticamente distantes. Por ello y como crecen con rapidez, pueden evolucionar rápidamente, adaptándose continuamente a nuevos ambientes como los plásticos o los vertidos de petróleo, y

como queda claro en el artículo, su tamaño pequeño y su versatilidad hacen posible que los procariotas sean comunes en todos los hábitats y contextos biológicos. Es decir, están en todas partes.

Clasificación de los procariotas

La elaboración del árbol filogenético de los procariotas está resultando un poco diferente a como se había hecho hasta ahora. Eso es debido a que de manera tradicional los árboles ofrecen ilustraciones de todos los tipos de criaturas que se mencionan. Pero, como se menciona en el artículo, algunos de los procariotas más importantes filogenéticamente se conocen en la actualidad sólo a través de sus ácidos nucleicos, y a veces por trazas de su metabolismo. No todos se han podido observar como organismos intactos, y es imposible ilustrarlos. En estos casos, en los árboles sólo se dan los nombres.

Conviene notar, en primer lugar, que el fenotipo (el conjunto de rasgos físicos observables) es una guía realmente muy pobre de la filogenia. La fotosíntesis, por ejemplo, la practican especies de cinco reinos bacterianos diferentes; además los parientes más cercanos de organismos fotosintéticos son a menudo heterótrofos. De hecho, en todos los grupos, por muy diferentes que parezcan, se pueden encontrar todas las formas de nutrición; además, los anaerobios a menudo surgen como hermanos de aerobios, y los extremófilos se dan la mano con los normófilos. Queda asimismo claro que hay al menos tres grupos diferentes de metabolizadores de azufre.

Así, para conocer más sobre las bacterias hay que aprender a conocer el lenguaje por medio del cual se han clasificado, y de ahí la importancia de homologar un vocabulario en el entorno (escolar o no) en que se manejen estos temas.

De los grupos tradicionales basados en el fenotipo, sólo unos pocos han sido confirmados por el análisis de ARN. Por ejemplo,

