

Temas de actualidad

La segunda Edad de Oro de la microbiología: de *The Microbial World* a *Microbe*

Ricardo Guerrero¹ y Mercedes Berlanga²

¹Departamento de Microbiología y ²Departamento de Microbiología y Parasitología Sanitarias, Universidad de Barcelona
rguerrero@iec.cat, mberlanga@ub.edu

The journey, not the arrival, matters
(RY Stanier, 1980)

Hay libros que, sin duda, han marcado un hito en la historia de la ciencia. En el caso de la ciencia microbiológica, no cabe duda de que *The Microbial World* ha sido uno de ellos. Los autores, Roger Y. Stanier, Michael Doudoroff y Edgard A. Adelberg, forman parte ya de esa historia que contribuyeron a hacer, y a la que aportaron la base de lo que hoy sabemos. Este año se cumple el cincuenta aniversario de la publicación de *The Microbial World* por la editorial Prentice-Hall (Stanier et al., 1957). Recientemente se ha publicado otro libro de texto que está íntimamente conectado con *The Microbial World*, tanto desde el punto de vista del enfoque —un profundo estudio de la estructura, fisiología y genética de los procariontes— como de los autores, que han sido discí-

pulos y colaboradores de Stanier. Se trata del libro *Microbe* (ASM Press, 2006), escrito por Moselio Schaechter, John L. Ingraham y Frederick C. Neidhart (Guerrero, 2006). En este artículo y en una de las sesiones del próximo Congreso Nacional de Microbiología, que se celebrará en Sevilla del 17 al 20 de septiembre de 2007, se propone rendir homenaje a los autores de *Microbe* por el trabajo que han llevado a cabo durante cinco décadas en la investigación de procesos fisiológicos y genéticos esenciales para establecer el conocimiento actual de los procariontes, así como por su espíritu inquisitivo y formador de nuevas generaciones de microbiólogos en todo el mundo. Además, se mencionan algunas de las nuevas perspectivas de estudio de la microbiología que Stanier, Doudoroff y Adelberg desconocían en 1957 y que sí quedan ya plasmadas en *Microbe* (Schaechter et al., 2006) (Fig. 1).

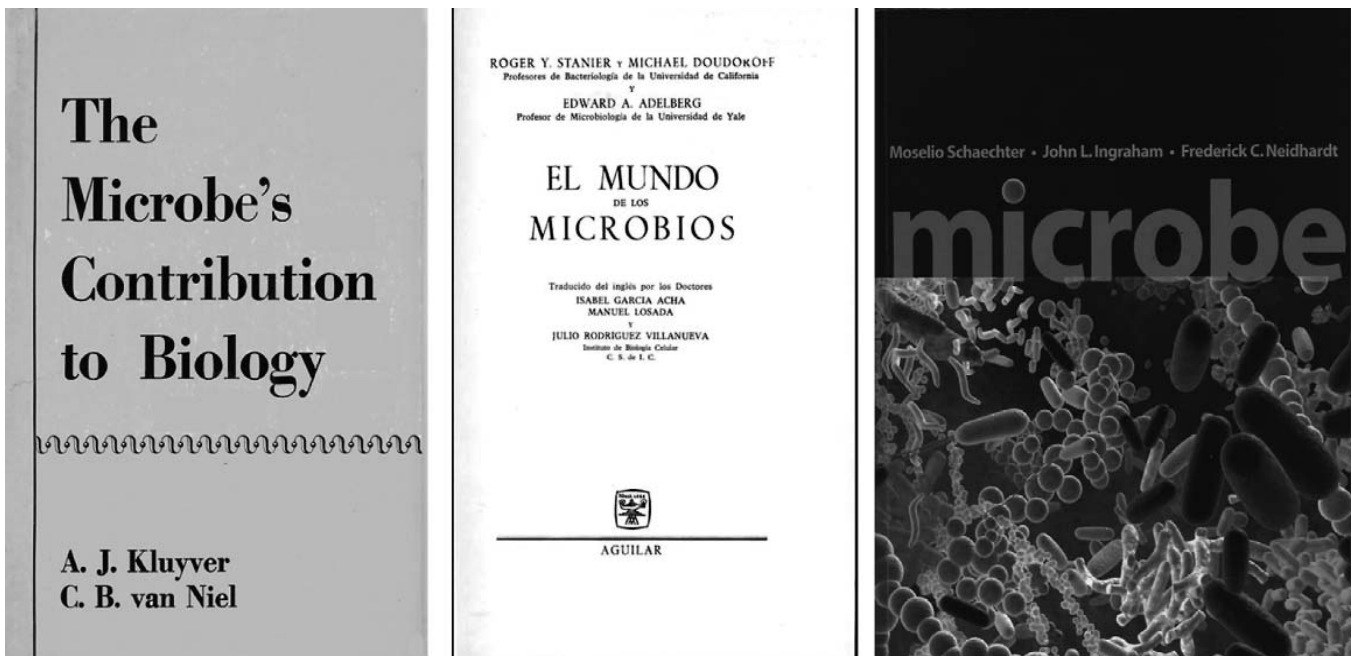


Figura 1. Portadas de los tres libros mencionados en el texto (de izquierda a derecha, por orden de antigüedad).

El legado de la Escuela de Delft: tres libros, una idea

La pequeña ciudad de Delft, en Holanda, es conocida por su porcelana de colores blanco y azul, y por ser la ciudad natal del pintor Jan Vermeer. Pero, también, por ser un lugar especial en la historia de la microbiología: Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723), Martinus Beijerinck (1851–1931) o Albert J. Kluyver (1888–1956) son algunos de sus ilustres microbiólogos. De Leeuwenhoek tratamos con cierto detalle en el número anterior de *Actualidad SEM* (Guerrero y Berlanga, 2006a). Beijerinck abrió un nuevo horizonte para el estudio de la diversidad y fisiología microbiana en el Departamento de Tecnología Química de la Universidad de Delft, y fue el iniciador de la tradición científica microbiológica de la famosa Escuela de Delft. Entre sus trabajos destacan el papel de los microorganismos en los ciclos biogeoquímicos, la nutrición vegetal, o el descubrimiento de los virus, ya que en 1898, descubre el virus del mosaico del tabaco, y lo describe como un “contagium vivum fluidum”, la primera definición de lo que podemos considerar vida acelular, o precelular. (Para un artículo detallado sobre la Escuela de Delft puede leerse Bennet y Phaff, 1993.)

El sucesor de Beijerinck en la Universidad de Delft y su discípulo fue Kluyver. Quizás su principal aportación fue su método comparativo, que destacó las características metabólicas unificadoras dentro del variado mundo microbiano y macrobiano. Uno de sus discípulos, Cornelis B. van Niel (1897–1985), después de instalarse en EE UU en 1929, contribuyó de manera significativa a transmitir la tradición de su Escuela de fisiología microbiana, de orientación comparativa y ecológica, a su nuevo país. Formó a otros microbiólogos tan importantes como Robert E. Hungate (1906–2004), Michael Doudoroff (1911–1975) o Roger Y. Stanier (1916–1982). En Pacific Grove, California, van Niel daba un curso de laboratorio mundialmente famoso que hacía hincapié en el estudio de los microorganismos en la naturaleza. El curso de verano anual de ecología microbiana que se imparte todavía en Woods Hole, Massachusetts, sigue el enfoque establecido por van Niel (Spath, 2004).

The Microbe's Contribution to Biology.

En abril de 1954, Kluyver y van Niel pronunciaron las prestigiosas conferencias “John M. Prather” en la Universidad de Harvard. El contenido de estas conferencias marcó un hito en la microbiología contemporánea. En 1956 se publicó

el libro correspondiente a dichas conferencias, *The Microbe's Contribution to Biology* (Kluyver y van Niel, 1956). El libro mostraba la aportación de los microorganismos a los conocimientos generales de la biología y ofrecía una síntesis de los avances en la comprensión de la fisiología y la genética de las bacterias. Al mismo tiempo, exponía la gran diversidad morfológica y metabólica de los microorganismos, que, aunque pudiera parecer contradictorio, se mantenía dentro de una asombrosa unidad bioquímica. Kluyver y van Niel ofrecían en su libro una nueva perspectiva del mundo microbiano, lo que representaba un cambio de paradigma en la investigación y enseñanza de la microbiología en todo el mundo (Guerrero y Berlanga, 2006b).

Kluyver, considerado el padre de la bioquímica comparada, y van Niel, abogaban por la unidad metabólica de la vida y proponían la utilización de los microorganismos para dilucidar las vías bioquímicas y las transformaciones de energía de todos los seres vivos. Era un modelo que ponía de manifiesto la relación existente entre todas las formas de vida por medio del reciclado de la materia, y la conexión de todos los organismos entre sí a través de la red de los ecosistemas.

The Microbial World.

Un año después de *The Microbe's Contribution to Biology* se publicó, siguiendo el mismo modelo conceptual, un libro de texto, *The Microbial World*, que revolucionaría la enseñanza de la microbiología en las universidades de todo el mundo.

La segunda edición del libro (1963) introduce una idea esencial para la microbiología moderna, el concepto de procariota, basada en un artículo de Stanier y van Niel (Stanier y van Niel, 1962). En este artículo se describen las principales características distintivas de la célula procariota respecto de la eucariota: (a) ausencia de membranas internas que separan “el núcleo” (en aquella época todavía se utilizaba “núcleo” para designar el material genético, término que resultaba confuso) del resto del citoplasma; (b) división por fisión, no por mitosis, y (c) presencia de una pared celular de peptidoglucanos específicos (Maloy y Schaechter, 2006; Sapp, 2006). En esta edición, la clasificación del mundo vivo conocido continúa utilizando la división en tres Reinos: plantas, animales y protistas, propuesta por Ernst Haeckel (1834–1919) en 1866. En los protistas se incluyen los microorganismos eucarióticos (protistas superiores) y los microorganismos procarióticos (protistas inferiores, o móneras, según Haeckel). También cabe destacar la “clasificación” de los procariotas en cianobacterias, mixobacterias, espiroquetas, actinomicetes (actualmente

actinobacterias), otras bacterias “raras” desde el punto de vista morfológico y, las “eubacterias” (las bacterias “convencionales”, o aquéllas que tenían una morfología bien definida).

El mundo de los microbios.

La temprana traducción al español de la segunda edición del libro por Isabel García Acha, Manuel Losada y Julio R. Villanueva (*El mundo de los microbios*, Ed. Aguilar, Madrid, 1965) tuvo una influencia profunda en las universidades y centros de investigación tanto de España como de Iberoamérica, en cuyos países alcanzó una gran difusión.

En 1986 se publicó la quinta y última edición de *The Microbial World*. Aunque los autores del libro fueron cambiando durante treinta años, se mantuvo el propósito original: la unificación de la microbiología con el resto de las ciencias biológicas. La cuarta edición se dedicó a la memoria de Doudoroff (fallecido en 1975); en la versión traducida al español (de 1984), se dedicó a Stanier (fallecido en 1982). La quinta edición fue realizada bajo la dirección de Ingraham, discípulo, colaborador y amigo de Stanier (Tabla 1).

A partir de la segunda edición en español se abandonó el sugerente nombre inicial y pasó a llamarse simplemente *Microbiología*, título que continuó en las siguientes ediciones. Dado el desfase temporal entre la versión original y la traducida, la

cuarta y quinta edición en español introducen datos y apartados no incluidos en el libro original. Dicha labor es elogiada por uno de los autores, Ingraham: “Con profundo reconocimiento damos la bienvenida a esta excelente versión española actualizada de la 4ª edición de *The Microbial World*, dirigida a estudiantes y profesionales de ambos lados del Atlántico. Con ella queda patente la aportación que los microbiólogos de habla hispana realizan a la ciencia de la Microbiología y expresamos nuestra esperanza de que la obra contribuya a su extensión. Vaya nuestro agradecimiento a traductores y editores por el excelente trabajo y notable esfuerzo realizado”.

Microbe.

Microbe, de Schaechter, Ingraham y Neidhardt (2006), se está traduciendo actualmente al español. Es el tercero y más reciente de los libros de texto de microbiología con un título no canónico (el primero, *El mundo de los microbios*; el segundo, *Biología de los microorganismos*, de Thomas D. Brock, 1970).

Microbe es un libro que refleja las nuevas tecnologías, esto es, ha incorporado en cada capítulo un enlace *website* [www.microbebook.org] a través del cual se puede consultar información adicional, como películas, figuras, artículos y enlaces a otras conexiones en internet relacionadas con el tema del capítulo. También presenta características

Versión original	Versión traducida al español	Traductores
RY Stanier, M Doudoroff, EA Adelberg (1957) <i>The Microbial World</i> . Prentice-Hall.		
RY Stanier, M Doudoroff, EA Adelberg (1963) <i>The Microbial World</i> . 2 nd ed. Prentice-Hall.	<i>El mundo de los microbios</i> . Editorial Aguilar (1965)	Isabel García Acha; Manuel Losada; Julio Rodríguez Villanueva.
RY Stanier, M Doudoroff, EA Adelberg (1970) <i>The Microbial World</i> . 3 rd ed. Prentice-Hall.	<i>Microbiología</i> . Editorial Aguilar (1977)	Isabel García Acha; Enrique Cerdá Olmedo; Claudio Fernández Heredia; Manuel Losada; Julio R. Villanueva.
RY Stanier, EA Adelberg, John L Ingraham (1976) <i>The Microbial World</i> . 4 th ed. Prentice-Hall.	<i>Microbiología</i> . Editorial Reverté (1984)	Isabel García Acha; Ricardo Guerrero; César Nombela; Julio R. Villanueva. Dirección: Julio R. Villanueva. Coordinación: Ricardo Guerrero.
RY Stanier, JL Ingraham, Mark L Wheelis, Page R Painter (1986) <i>The Microbial World</i> . 5 th ed. Prentice-Hall.	<i>Microbiología</i> . Editorial Reverté (1992)	Mariano Gacto; Isabel García Acha; Ricardo Guerrero; Julio R. Villanueva. Dirección: Julio R. Villanueva. Coordinación: Ricardo Guerrero.

Tabla 1. Sucesivas ediciones de *The Microbial World*, y de sus traducciones al español.

distintivas respecto a otros libros de texto de microbiología. *Microbe* no explica la historia de la microbiología, no incluye la clasificación bacteriana de la última edición del Bergey, no trata extensamente las enfermedades, ni tampoco los mecanismos de control (antibióticos, desinfectantes, u otros métodos físicos). Pero, si que describe cómo los microbios ajustan sus actividades para sobrevivir y prosperar en el ambiente (coordinación y regulación metabólica, diferenciación y desarrollo celular). Se estudian diversas interacciones simbióticas, la comunicación célula-célula (percepción de quórum y formación de biopelículas)

(Keller y Surette, 2006). Los autores hacen hincapié en las actividades de los microbios como grupo (gremios), en vez de en su estudio como individuos (Tabla 2).

En los cincuenta años transcurridos desde la primera edición, se ha producido lo que se ha denominado la segunda Edad de Oro de la Microbiología (Maloy y Schaechter, 2006). La primera fue la época de los grandes descubrimientos de los microorganismos responsables de las principales enfermedades infecciosas; a partir de Louis Pasteur y Robert Koch, fueron legión los descubridores abnegados que consiguieron vencer

<i>El mundo de los microbios</i>	<i>Microbe</i>
Cap. 1 Los comienzos de la microbiología	
Cap. 2 Fundamentos y práctica de los métodos para tener cultivos puros	
	Cap. 1 El mundo de los microbios
Cap. 3 Estructura y evolución de los organismos	Cap. 2 Estructura y función de la célula procariota: envolturas y apéndices
Cap. 4 Organización interna de las células	Cap. 3 Estructura y función de la célula procariota: el interior de la célula
Cap. 5 y 6 Protistas superiores: algas, protozoos, hongos	Cap. 16 Microbios eucariotas
Cap. 7 y 8 Protistas inferiores: cianobacterias, mixobacterias, espiroquetas, eubacterias	Cap. 15 Microbios procariotas
Cap. 9 Virus	Cap. 17 Virus, viroides y priones
Cap. 10-13 Metabolismo	Cap. 5-9 Metabolismo
	Cap. 12 Coordinación y regulación
	Cap. 14 Diferenciación y desarrollo
Cap. 14 Problema del cultivo de bacterias	
Cap. 15 Crecimiento y muerte bacteriana	Cap. 4 Crecimiento de las poblaciones microbianas
Cap. 16 Efecto del ambiente en el crecimiento y muerte bacteriano	Cap. 13 Éxito en el ambiente
Cap. 17 Estructura de las eubacterias	Cap. 15 Microbios procariotas
Cap. 18 Grupos de eubacterias	Cap. 15 Microbios procariotas
Cap. 19 Cultivos de enriquecimiento	
Cap. 20-22 Genética microbiana	Cap. 10 Genética y Cap. 11 Evolución
Cap. 23 Los microorganismos como agentes geoquímicos	Cap. 18 Ecología
Cap. 24 Relaciones simbióticas de microorganismos con plantas y animales	Cap. 19 Simbiosis, depredación y antibiosis
Cap. 25-28 Inmunología y mecanismos de patogenicidad bacteriana	Cap. 20 Infección: el huésped vertebrado
Cap. 29 Fundamentos de la quimioterapia	Cap. 22 Microbios e historia de la humanidad
Cap. 30 y 31 Enfermedades infecciosas	Cap. 21 Infección: el microorganismo
Cap. 32 Explotación de los microorganismos por el hombre	Cap. 23 Aprovechamiento de los microbios

Tabla 2. *El mundo de los microbios* (1965) en comparación con *Microbe* (2006).

el flagelo de la infección y combatir por primera vez eficazmente la muerte debida a muchas enfermedades. La segunda Edad de Oro ha sido el descubrimiento del metabolismo, estructura y genética de los microorganismos, en cuyo proceso los autores de los dos libros, Stanier, Doudoroff y Adelberg, en primer lugar, y Schaechter, Ingraham y Neidhardt, una generación después, han tenido un papel preponderante. La tercera Edad de Oro, que está en sus inicios, es la de la aplicación del detallado conocimiento de los genomas procarióticos (hasta mayo de 2007, se han publicado 466 genomas de bacterias y 41 de arqueas), al estudio del proteoma y metagenoma (Guerrero y Berlanga, 2006b; Burckley y Roberts, 2007). Las regularidades que se están observando y la constancia que se manifiesta a lo largo de la evolución, permiten suponer que los microorganismos, una vez más, serán un instrumento esencial para desentrañar los principales mecanismos biológicos y para avanzar en el conocimiento de los secretos de la vida.

“Nada en la biología tiene sentido, sino a la luz de la evolución”

Esta frase tan repetida es el título de un famoso artículo de G. Evelyn Hutchinson (1903–1991), uno de los grandes ecólogos del siglo xx. Durante mucho tiempo no se pudieron hacer estudios de genética o evolución con los microorganismos. Los de genética se limitaban a los que se podían realizar con plantas o animales, suficientemente grandes para poder ser contados u observados. Los de evolución, con aquellos grupos que nos habían dejado fósiles abundantes y conspicuos. Pero, en la década de 1940 y 1950 se descubrió que las bacterias eran unos organismos excelentes para la investigación genética. Su pequeño tamaño y la rapidez de su reproducción permitían tener en pocas horas, y en unas cuantas placas de Petri o tubos de ensayo, los cambios genéticos que hubieran necesitado milenios y grandes espacios si se hubieran hecho con animales o plantas. Pero los trabajos sobre la evolución de las bacterias estaban limitados por varios inconvenientes insuperables. Las bacterias no parecían haber dejado fósiles y la mayor parte no podían cultivarse en el laboratorio. Los microorganismos presentaban una enorme diversidad (tanto en el espacio como en el tiempo), de la cual sólo podía estudiarse una mínima parte. Las técnicas de enriquecimiento y aislamiento de microorganismos determinan unas condiciones ambientales no naturales que sólo permiten el crecimiento de determinados microorganismos, los que pueden vivir en ese ambiente

artificial. Además, estas “condiciones” son resultado de la habilidad, paciencia y suerte de algunos investigadores (alemanes y rusos se han llevado merecidamente la palma en este campo de la microbiología). De las especies actualmente conocidas se estima que se ha descrito del 85 al 90% de las de plantas y animales vertebrados, menos del 5% de las de hongos y menos del 1% de las “especies” de procariotas.

La información genómica puede proporcionar una vía de acceso a la comprensión del metabolismo de aquellos microorganismos que son difíciles de cultivar en el laboratorio. Los cambios genómicos en la evolución microbiana pueden operar por mecanismos intracelulares o por mecanismos intercelulares. Los procesos que se consideran intracelulares incluyen mutaciones, ampliificaciones, inversiones, deleciones, etc., mientras que la principal fuente de cambio intercelular (extrínseco) es la transferencia horizontal, en el que un microorganismo adquiere DNA de otro(s) microorganismo(s). Sin embargo, independientemente de los cambios, el ambiente es quien determina la supervivencia y complejidad del genoma en conjunto. El estudio genómico de las poblaciones de un microorganismo en un ecosistema se ha denominado metagenómica. La “secuenciación del mundo microbiano” permitirá el descubrimiento de nuevos microorganismos, de sus funciones y de sus interacciones. El ambiente es el contexto en el que evoluciona y funciona un material genético, y el que, en el fondo, determina la viabilidad y forma del genoma.

La evolución procariótica ha planteado siempre muchos problemas, porque, como hemos visto, parecía que “las bacterias no han dejado fósiles”. Antes de la utilización de las técnicas moleculares, las primeras clasificaciones de bacterias [p.ej., las de Ferdinand Cohn (1828–1898)] se basaron solamente en datos recogidos de la observación microscópica. Cohn, en el último tercio del siglo xix, propuso que las diferentes formas y medidas de organismos que se observaban probablemente representaban diferentes especies y no diferentes estadios del ciclo de vida de un mismo organismo. Clasificó las bacterias en cuatro grupos, que se relacionaban con las plantas a través de las “algas azules” (actualmente, cianobacterias). Por tanto, las consideró plantas primitivas. Ya en el siglo xx, los cultivos axénicos y la utilización de técnicas bioquímicas para analizar los datos fenotípicos permitió una clasificación determinativa, y los procariotas se clasificaron según las similitudes morfobioquímicas, que no tenían que coincidir con su historia filogenética, oculta por las brumas del tiempo.

Taxonomía (¿y filogenia?) molecular

En 1965, Emile Zuckerkandl (1922-) y Linus Pauling (1901-1994) sugirieron que la historia de la vida podía quedar reflejada en las secuencias de macromoléculas, como los ácidos nucleicos y las proteínas. Esto hizo pensar que sí era posible hacer una taxonomía microbiana. El avance definitivo lo dio Carl Woese y sus colaboradores, en 1977, cuando utilizaron como herramienta filogenética de clasificación de los organismos la secuenciación de la molécula del rRNA 16S (o 18S en los eucariotas) de la subunidad pequeña del ribosoma. Por primera vez, la microbiología se asentaba dentro un marco filogenético y se convertía en una disciplina indudablemente biológica. El estudio de la diversidad microbiana pasaba de ser una mera colección de organismos aislados a intentar profundizar en las relaciones de la historia evolutiva. Al mismo tiempo, se destacaba la increíble diversidad de la vida, insistiendo en la abrumadora diversidad del mundo microbiano (incluyendo no solamente los procariotas sino también, y muy especialmente, los protistas).

En la taxonomía intervienen la identificación, la nomenclatura y la clasificación (la “trilogía de Cowan”, de 1965) de los organismos, según una serie de características comunes (aparentemente). La clasificación es un término muy extenso (aplicable más allá de las ciencias biológicas), en el que se hace referencia al hecho de ordenar sistemáticamente objetos según unos criterios específicos. La nomenclatura (ciencia biológica) consiste en dar un nombre en latín, siguiendo la tradición lineana, al individuo identificado por primera vez. Mientras que la taxonomía es el esfuerzo humano por ordenar los datos, la filogenia es la relación evolutiva existente entre los organismos (Fig. 2).

Cooperación y pluricelularidad

En los últimos treinta años nuestra visión de los procariotas ha cambiado drásticamente. Durante más de un siglo las bacterias se habían estudiado como poblaciones de células que actuaban independientemente. Pero hoy sabemos que hay muchos mecanismos de interacción y comunicación entre las células (Shapiro, 1998). Las bacterias pueden producir una gran cantidad de compuestos químicos para responder a diversos estímulos del medio ambiente. Algunos de esos compuestos pueden regular la expresión de ciertos genes cuando la población alcanza un determinado tamaño, y este tipo de respuesta se ha denominado “percepción de quórum”. Por ejemplo, bacterias marinas como *Vibrio fisheri* pueden emitir luz cuando la concentración de células en

un lugar pasa un umbral determinado. La percepción de quórum actúa como mecanismo para desencadenar la regulación coordinada de un comportamiento a nivel poblacional.

Unas bacterias donde la emisión de señales parece tener gran importancia son algunos tipos de bacterias patógenas. Las bacterias patógenas pueden formar con frecuencia microcolonias en algunos lugares del huésped, con lo cual facilitan la emisión de señales que “llaman” a otros individuos. En esta situación, se puede producir una expresión coordinada de factores de virulencia (toxinas, fimbrias, etc.). De modo similar, bacterias en ambientes naturales pueden utilizar la percepción de quórum para regular la expresión de enzimas extracelulares que permitan degradar macromoléculas (celulosa, lignina, diversos contaminantes) presentes en el ambiente.

Ahora sabemos que la comunicación intercelular y la coordinación multicelular están muy extendidas entre los procariotas y que afectan múltiples fenotipos. El comportamiento multicelular coordinado puede observarse en diferentes situaciones, como en el crecimiento colonial de *Escherichia coli* y *Bacillus subtilis*, en el desplazamiento en enjambre de *Proteus* y *Serratia*, e incluso en la organización espacial y cooperación metabólica interespecífica dentro de las distintas poblaciones de un reactor microbiano anaerobio.

Las bacterias se benefician de la cooperación multicelular organizando una “división del

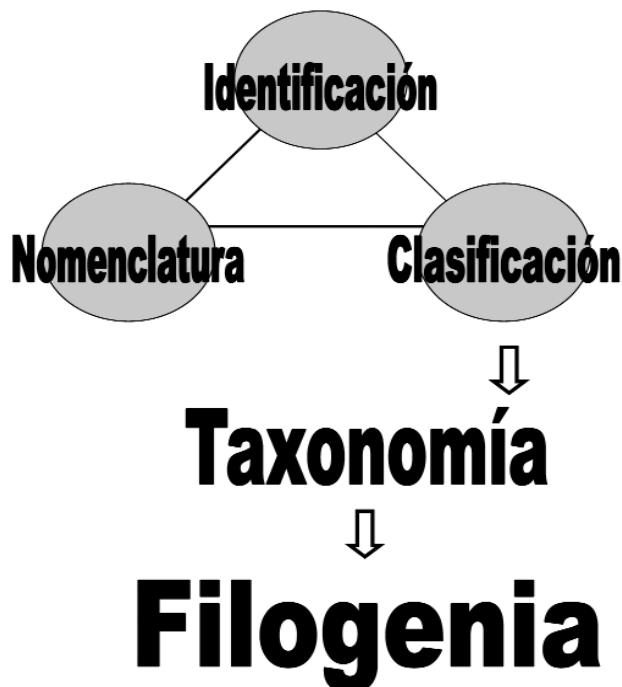


Figura 2. La “trilogía” de Samuel Cowen (1905-1976), y la concatenación entre clasificación, taxonomía y filogenia.

trabajo”, accediendo a fuentes de nutrientes que no podrían ser utilizadas por las células aisladas, defendiéndose colectivamente contra antagonistas, y optimizando la supervivencia de la población promoviendo la diferenciación en distintos tipos celulares. El factor ambiental desencadenante más frecuente parece ser el estrés nutricional (la hambruna), lo que sugiere que la agregación y la formación de estructuras multicelulares es una respuesta adaptativa para sobrevivir en ambientes desfavorables. La pluricelularidad en procariontes se considera una consecuencia de la evolución morfológica y estructural de algunos grupos, como las mixobacterias o las actinobacterias.

Especialmente las mixobacterias presentan muchos ejemplos de función multicelular coordinada, como el desplazamiento por superficies, la formación de agregados y las morfologías características de distintas especies del grupo.

A diferencia de lo que se había creído durante más de un siglo, las bacterias en la naturaleza viven principalmente en comunidades sésiles y no como células nadadoras libres. Es decir, las células bentónicas son la norma, y las planctónicas la excepción. Las comunidades sésiles se desarrollan como biopelículas en todas las superficies en los ambientes acuáticos. La diferenciación en una biopelícula está controlada por la expresión secuencial de algunos determinantes metabólicos, bien como parte de un tipo habitual de respuesta adaptativa a los factores ambientales, o bien como parte de un ciclo de vida “programado”. Frente a una situación de hambruna puede ser ventajoso para la comunidad que una parte de la población se lise para proporcionar nutrientes a las células restantes.

“Una irrefrenable pasión por los escarabajos”

La célula, tanto la bacteriana (donde su genoma no está rodeado por una membrana) como la eucariótica (cuyo material genético está rodeado por una membrana lipoproteica) constituye la unidad de toda vida. El origen de la célula bacteriana es el origen de la vida misma, mientras que la teoría endosimbiótica seriada describe el origen subsiguiente de la célula con núcleo por simbiogénesis. La “simbiosis” difiere del término evolutivo “simbiogénesis”. La simbiosis se refiere a organismos de especie diferente que viven juntos. La endosimbiosis es una condición topológica, una clase de simbiosis donde un socio vive dentro de otro. La simbiosis no es un proceso evolutivo *per se*, hace referencia a asociaciones fisiológicas temporales. La simbiogénesis, en cambio, implica la aparición de nuevos tejidos, nuevos órganos,

nuevas características que resultan de la asociación simbiótica prolongada (Guerrero y Berlanga, 2003).

Toda forma de vida posee algún tipo de conexión con cualquier otra forma de vida. Estas simbiosis (que etimológicamente quiere decir “vida juntos”) sean tenues o fuertes, permanentes o temporales, forman los componentes de la biosfera. Lo que solemos llamar la individualidad de estos organismos, plantas y animales por ejemplo, es en realidad una simbiosis compleja de muchos (micro)organismos. Además, esta relación es esencial para el sustento tanto del microorganismo como del socio que lo hospeda; sin simbiosis microbianos, la mayoría de los animales y las plantas no podrían sobrevivir en comunidades naturales.

La mayor parte de los insectos (con mucho el grupo de animales más diverso; no en vano John B.S. Haldane [1892–1964], el gran genético y evolucionista, dijo que la Creación mostraba “an inordinate fondness for beetles”) tienen relaciones estrechas con algunos grupos de bacterias. Esas asociaciones permiten al insecto vivir con dietas muy especializadas o restrictivas, ya que les proporcionan suplementos nutricionales (aminoácidos, vitaminas) sin los cuales el animal no podría vivir. La pérdida del simbionte ocasiona a veces problemas graves, como la esterilidad, un desarrollo defectuoso o una vida más corta. La coexistencia del insecto y sus simbiosis puede ser datada en millones de años, y permiten suponer que la aparición de una nueva estrategia de vida, de una nueva alimentación, o la adquisición de una anatomía determinada ha sido acompañada por la incorporación de un grupo determinado de bacterias como simbionte permanente. Tenemos el caso de *Buchnera*, endosimbionte de diversos áfidos, los cuales se alimentan de savia, que no tiene nitrógeno orgánico. La bacteria *Buchnera* fabrica casi todos los aminoácidos que necesita el insecto. Hay ejemplos de diversos tipos, como *Wigglesworthia* y la mosca tsetsé, *Blochmannia* y algunas hormigas, *Carsonella* y los psílidos, *Blattobacterium* y ciertas cucarachas, etc. Muchas de esas asociaciones simbióticas en artrópodos se establecen con gammaproteobacterias. El genoma de estas bacterias endosimbiontes se ha reducido enormemente, de manera que ya no pueden mantenerse en cultivos axénicos. El genoma de los procariontes está generalmente entre unos 10 millones de bases (mixobacterias) y 1 millón de bases. (*Escherichia coli* K12, por ejemplo, tiene un genoma intermedio, de 4639 kb.) Por debajo del millón de bases pocas bacterias pueden mantenerse aisladas en cultivos axénicos. Diversas

especies de *Buchnera* tienen entre 450 y 653 kb, *Wigglesworthia* 697 kb, *Blochmannia* 800 kb y *Baumannia* 680 kb. Esos genomas reducidos reflejan la estrecha asociación de la bacteria con la fisiología y la ecología del huésped, de tal manera que a lo largo de la evolución (en algunos casos, de 100 ó 150 millones de años) ha perdido las vías metabólicas de compuestos que no necesita en la vida simbiótica.

“No soy yo, sino yo y mis... microbios”

El metabolismo de las bacterias esculpe nuestro ambiente físico, porque ellas son ubicuas y presentan capacidades metabólicas muy diversas. Las bacterias son también instrumentos para entender los procesos fundamentales de la vida, comunes a todos los organismos. Por otra parte, empezamos a ser conscientes de que los microorganismos son esenciales para el correcto funcionamiento tanto de la biosfera como de nuestro cuerpo. A pesar de la amenaza que representan los patógenos, los humanos y las otras formas de la vida hemos aprendido a coexistir con los microbios. De hecho, las interacciones de comunidades microbianas con el cuerpo humano generalmente no son patógenas sino simbióticas. La microbiota autóctona mantiene la salud humana de forma diversa, tal como protegiéndonos contra los microorganismos patógenos exógenos. Los microorganismos regulan el desarrollo de nuestro sistema inmunitario y de las mucosas, nos proporcionan alimentos y vitaminas, y nos desintoxican de componentes dietéticos perjudiciales.

Nosotros y otros “macrobios” dependemos de las actividades múltiples del invisible mundo microbiano. El tamaño minúsculo de sus miembros contradice su tremenda importancia.

Bibliografía

- Bennett JW, Phaff HJ (1993) Early biotechnology: the Delft connection. *ASM News* 59:401-404
- Buckley M, Roberts RJ (2007) Reconciling microbial systematics and genomics. Report de la Am Acad Microbiol, ASM Press, Washington, DC
- Guerrero R, Berlanga M (2003) Planeta simbiótico: contribución de los microorganismos al equilibrio de los ecosistemas. *Actualidad SEM* 36:16-22
- Guerrero R, Berlanga M (2006a) Los cambios de paradigma en microbiología. *Actualidad SEM* 42:24-31
- Guerrero R, Berlanga M (2006b) “Life’s unity and flexibility”: the ecological link. *Int Microbiol* 9:225-235
- Guerrero R (2006) Microbe. *Int Microbiol* 9:75-76
- Keller L, Surette MG (2006) Communication in bacteria: an ecological and evolutionary perspective. *Nat Rev Microbiol* 4:249-258
- Kluyver AJ, van Niel CB (1956) *The Microbe’s Contribution to Biology*. Harvard University Press, Cambridge, MA
- Maloy S, Schaechter M (2006) The era of microbiology: a Golden Phoenix. *Int Microbiol* 9:1-8
- Sapp J (2006) Two faces of the prokaryote concept. *Int Microbiol* 9:163-172
- Schaechter M, Ingraham JL, Neidhardt FC (2006) *Microbe*. ASM Press, Washington DC
- Shapiro JA (1998) Thinking about bacterial populations as multicellular organisms. *Annu Rev Microbiol* 52:81-104
- Spath S (2004) van Niel’s course in general microbiology. *ASM News* 70:359-363
- Stanier RY, Doudoroff M, Adelberg EA (1957) *The Microbial World*. Prentice-Hall, New Jersey
- Stanier RY, van Niel CB (1962) The concept of a bacterium. *Arch Mikrobiol* 42:17-35

VISITE LA PÁGINA WEB DE LA SEM: www.semico.es

Encontrará información actualizada sobre congresos, reuniones, cursos y becas.