

ENCUENTROS CON LA CIENCIA II

Del macrocosmos al microcosmos

Coordinadores: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano

Premio
Divulgación Científica
Ateneo-Universidad de Málaga
2010



Coordinan: Enrique Viguera, Ana Grande y José Lozano
Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Málaga

Produce: Ciencia Digital, S.L.
Diseño de portada: Patricia Vicente López

ISBN: 978-84-9747-337-8 (Versión digital)



Esta obra está sujeta a una licencia Creative Commons:
Reconocimiento - No comercial - SinObraDerivada (cc-by-nc-nd):
[Http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es)
Cualquier parte de esta obra se puede reproducir sin autorización
pero con el reconocimiento y atribución de los autores.
No se puede hacer uso comercial de la obra y no se puede alterar, transformar o hacer obras derivadas.

Esta obra se encuentra depositada en el repositorio institucional de la Universidad de Málaga (RIUMA), en <http://hdl.handle.net/10630/4255> y puede consultarse también en www.encuentrosconlaciencia.es.

Índice

Prólogo	7
Introducción	9
Mundo RNA y origen de la vida. Carlos Briones Llorente	11
Una aproximación experimental a la evolución viral: desentrañando los papeles de la mutación, la selección y el azar. Santiago F. Elena	27
Simbiosis: aprendiendo a vivir juntos. Amparo Latorre Castillo	39
Bacterias Guerreras, Guardianas y Suicidas. Cayo Ramos Rodríguez	51
De la Biología Molecular a la Biomedicina. Margarita Salas	65
Fármacos Biológicos: ¿Una nueva medicina?. Beatriz Gil Torregrosa	75
La revolución biotecnológica: ¿amenaza u oportunidad para el desarrollo de la humanidad? Luis Ángel Fernández Herrero	87
Biología molecular y Bioinformática: dos ciencias destinadas a entenderse. Francisca Sánchez Jiménez	99
Genética forense: De la escena del crimen al laboratorio. José Antonio Lorente Acosta	115
Genómica Neandertal. Carles Lalueza-Fox	127
Expedición científica a la caldera de Lubá. Isla de Bioko (Guinea Ecuatorial). Ignacio Martín/Pablo Cobos	137
Insectos en ámbar: atrapados en el tiempo. Antonio Arillo Aranda	151
¿Qué dice la ciencia sobre la Sábana Santa? José-Manuel Fernández-Fígares	163
Sobre minerales, metales y gemas. El legado minero de la provincia de Málaga. Juan C. Romero Silva	179
Sonidos de la ciencia: consumo y contrapublicidad. Bartolo Luque Serrano	211
Ciencia a la cazuela. Carmen Cambón Cabezas, Marisol Martín de Frutos y Eduardo Rodríguez Martín	221
Determinismo y azar en el comportamiento humano. Marcos Ruiz Soler	241

ENCUENTROS CON LA
CIENCIA II
Del macrocosmos al microcosmos

Málaga, 2010

Simbiosis: aprendiendo a vivir juntos

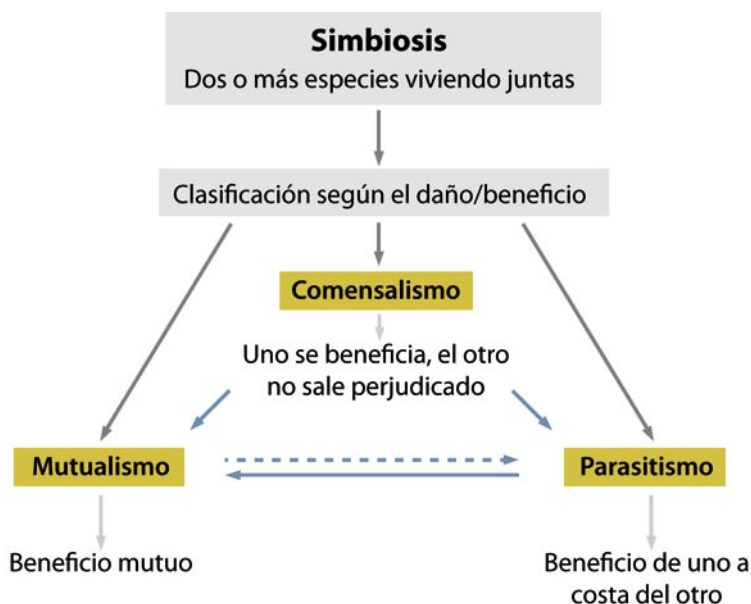
Amparo Latorre Castillo. *Catedrática de Genética. Universidad de Valencia.*

“El estudio de la simbiosis es esencialmente biología de sistemas, porque integra no sólo todos los niveles del análisis biológico (desde el molecular al ecológico), sino también el estudio de la interacción entre organismos en los tres dominios de la vida. El desarrollo de este campo está todavía en estadios tempranos, pero los hallazgos obtenidos hasta ahora prometen una revolución en el modo de entender el mundo biótico” (Margaret McFall-Ngai, 2008).

El término simbiosis proviene de dos palabras griegas: *sym* (juntos) y *bios* (vida). Fue introducido por primera vez por Anton de Bary en 1879 y lo definió como la vida conjunta entre especies distintas, aunque su definición no incluía un juicio sobre daño o beneficio. Desde finales del siglo XIX y principios del XX la escuela rusa formada por K. Merezhkousky, A. Faminstyn y Kozo-Polyansky formula la noción de simbiogénesis, el proceso que conduce a la simbiosis y considera que es crucial para la generación de novedades biológicas. Pero la bibliografía rusa no estuvo disponible en inglés hasta 1922 y aún hoy sigue esencialmente ignorada por el mercado anglófono. En 1967 Lyn Margulis, rescatando estos trabajos olvidados, formula la teoría simbiótica de la evolución celular, hoy universalmente aceptada en lo que hace referencia al origen de las mitocondrias y los cloroplastos. El estudio de la simbiosis ha adquirido una gran relevancia durante las dos últimas décadas, especialmente gracias a la aplicación de métodos de aislamiento y caracterización de genes o genomas de microorganismos, normalmente no cultivables, y la posibilidad que ello ha brindado de contrastar algunas de las teorías sobre la evolución de asociaciones simbióticas formuladas en el seno de la biología evolutiva. Precisamente, los estudios genómicos aplicados al conocimiento de las asociaciones endosimbióticas han revelado que la simbiogénesis, definida actualmente como el mecanismo que permite el establecimiento de nuevas estructuras, procesos bioquímicos, o de comportamiento, es de mucha más trascendencia de lo que se sospechaba hace sólo unos años.

Algunos conceptos

La simbiosis en un sentido amplio de “viviendo juntos” se define como el estrecho contacto físico y de larga duración entre dos organismos. Sin embargo, desde la perspectiva del beneficio, mutuo o no, que se puedan conferir tales organismos se distinguen tres tipos de asociaciones: **parasitismo**, cuando la eficacia de un organismo se incrementa a costa de disminuir la del otro, **mutualismo**, en la que ambos incrementan su eficacia, o **comensalismo** en la que uno de ellos incrementa su eficacia sin afectar a la del otro. De acuerdo con la localización del simbiote en relación con la célula huésped se habla de **endosimbiosis**, cuando el organismo, generalmente una bacteria, está literalmente secuestrado dentro del eucariota, que en muchos casos, desarrolla unas células especializadas para albergar a la bacteria, el bacteriocito y de **ectosimbiosis** cuando el simbiote vive sobre la superficie del hospedador, incluyendo superficies internas, como el tubo digestivo, glándulas, etc. Sin embargo, los límites entre tales asociaciones no son nítidos y no puede descartarse, de hecho es lo más probable, que existan transiciones evolutivas de unas a otras. Todavía no está resuelto qué mecanismos desencadenan que, tras la entrada de un organismo (generalmente un microorganismo) en un hospedador (generalmente un eucariota) devengan en una relación de mutualismo o de parasitismo, con consecuencias totalmente opuestas para el último. La distinción entre simbioses parásitos y mutualistas se basa, fundamentalmente, en el efecto que el microorganismo ejerce sobre el hospedador. Pero desde la perspectiva de la bacteria, sin embargo, ambos estilos de vidas comportan soluciones moleculares diferentes a una serie de problemas similares que tienen que resolver, a saber: adherirse y en el caso de los endosimbiontes entrar en la célula del hospedador, multiplicarse, conseguir que sus células colonicen nuevas células y/o nuevos hospedadores, y activar mecanismos de evasión de la respuesta inmune del hospedador. Existe un amplio debate sobre si los endosimbiontes mutualistas surgieron a partir de bacterias parásitas, o viceversa. Los estudios filogenéticos y los análisis de genómica comparada parecen apoyar la hipótesis de que los endosimbiontes actuales podrían haber evolucionado de bacterias patógenas que, de una forma u otra, han atenuado tal carácter, volviéndose beneficiosos para ambos miembros de la asociación.



Ectosimbiosis: el simbiote vive sobre la superficie del hospedador, incluyendo superficies internas.

Endosimbiosis: el simbiote está "secuestrado" dentro de una célula eucariótica.

Endosimbionte \longrightarrow Orgánulo

■ Transiciones no resueltas

Algunos ejemplos de simbiosis microbianas

Hoy en día se conocen muchos ejemplos de simbiosis con microorganismos, cada uno de ellos fascinantes y que podrían ser motivo de un capítulo separado. Veamos algunos ejemplos.

Muchos eucariotas unicelulares se alimentan de bacterias, que tragan mediante fagocitosis. Un caso muy interesante es el de la ameba *Amoeba proteus*, que resultó infectada con unas bacterias llamadas bacterias X, que

en un principio establecieron una relación de parasitismo, llegando a provocar la muerte celular, pero que actualmente en algunos linajes se han convertido en mutualistas obligadas.

En las leguminosas son característicos los nódulos en las raíces, en cuyo interior se albergan bacterias del género *Rhizobium*, capaces de fijar el nitrógeno del aire y hacerlo aprovechable para la planta, por lo que éstas pueden crecer en suelos pobres en nitrógeno. También entre los organismos eucariotas hay muchos y muy importantes casos de simbiosis, como el de las asociaciones de hongos con otros hongos, con protistas, con animales, con plantas (como las micorrizas), o con algas. Es el caso de los líquenes, hongos que contienen algas o cianobacterias fotosintéticamente activas. De hecho, los líquenes nos proporcionan un ejemplo característico de simbiogénesis, ya que el individuo liquen es algo más que sus dos componentes. No es ni un alga verde o una cianobacteria, ni un hongo.

Finalmente, son comunes las simbiosis en el intestino con bacterias y protozoos para digerir ciertas sustancias. Por ejemplo, las bacterias localizadas en la panza de los rumiantes, que les permiten digerir la celulosa de las gramíneas, o en el intestino de humanos, donde forman la microbiota intestinal que ayuda a digerir los alimentos y absorber los nutrientes, o el caso de la termitas con las comunidades de bacterias alojadas en su aparato digestivo y que les permiten digerir la madera.

Las primeras simbiosis

Sin duda las endosimbiosis intracelulares que originalmente descienden de procariotas de vida libre han sido importantes en la evolución de los eucariotas. La magnitud de ésta es más relevante en lo concerniente al origen de la célula eucariota, que es una quimera de varios procariotas. Las mitocondrias (procariotas con gran capacidad de consumir oxígeno) constituyeron en el pasado formas libres de bacterias púrpuras (alfa-proteobacterias) que proporcionaron respiración y metabolismo energético eficiente al huésped. Los cloroplastos, una vez cianobacterias de vida libre, proporcionaron a sus huéspedes capacidad de fotosíntesis (procariotas con clorofila que resultaron en células fotosintéticas) y ambos orgánulos han hecho una contribución sustancial al complemento de genes que

aún se encuentran en los genomas nucleares. Aunque la naturaleza de la primera célula huésped es motivo de un encendido debate entre los evolucionistas celulares, actualmente se acepta por la mayoría que ésta era unicelular, posiblemente una arquea y carecía de mitocondrias. Pero más allá de esto, los biólogos no se ponen de acuerdo sobre la naturaleza de su organización intracelular, su estilo de vida bioquímico o ¿cuántos y cuáles genes poseían? La capacidad de respirar oxígeno como consecuencia de la adquisición de la mitocondria propició el origen de los animales y la capacidad fotosintética adquirida posteriormente con los cloroplastos, originó los vegetales. En ambos casos, mitocondrias y cloroplastos tienen su origen en bacterias de vida libre y los descendientes de estas bacterias aún se encuentran entre nosotros.

Simbiosis en acción: los insectos como modelo

Sabemos que las simbiosis establecidas entre eucariotas con procariotas (bacterias y arqueas) están muy extendidas en la naturaleza, ya que se han documentado asociaciones simbióticas en prácticamente cualquier rama principal del árbol de la vida. Precisamente, esta observación junto con datos adicionales tales como estudios filogenéticos y genómicos de diferentes asociaciones, refuerzan la visión de que la simbiosis es un mecanismo importante para la emergencia de novedades evolutivas en los eucariotas. La mayoría de las asociaciones simbióticas tienen una función bioquímica, ya que como el metabolismo heterotrófico de los animales es muy limitado tienen que obtener aminoácidos esenciales, vitaminas, ácidos grasos, etc, de la dieta, pero si ésta es deficiente en alguno de estos nutrientes, deben de obtenerse de otras fuentes, como de bacterias simbióticas. Uno de los grupos en los que se han descrito más ejemplos de simbiosis mutualistas y también de los que se han llevado a cabo más estudios experimentales y genómicos es el de los insectos.

Los insectos son el grupo de organismos con mayor número de especies, habiéndose estimado que aproximadamente entre un 15 a un 20% de ellos establecen relaciones de simbiosis con bacterias, de las que dependen para su viabilidad y reproducción. Debido a esta dependencia estricta, estas bacterias reciben el nombre de endosimbiontes primarios. Los insectos surgieron como linaje de los artrópodos hace 385 millones

de años y diversificaron rápidamente. Un factor clave en el éxito evolutivo de este grupo de organismos podría haber sido el establecimiento de asociaciones mutualistas con bacterias, que les han permitido explorar una gran variedad de nichos. Por ello, los insectos proporcionan un material ideal para examinar el significado evolutivo de la simbiosis. En las simbiosis con insectos de carácter mutualista un rasgo fundamental lo constituye la dieta del insecto, que se caracteriza porque suele ser especializada y limitada de nutrientes, que son suministrados por la bacteria. Así, por ejemplo, pulgones, psílicos, mosca blanca y cochinillas se alimentan del floema de la planta, una dieta desequilibrada, dado que es rica en azúcares, pero deficiente en aminoácidos, vitaminas y ciertos lípidos esenciales. Para solventar este problema los insectos han establecido una relación de simbiosis con bacterias (*Buchnera aphidicola* con los pulgones, *Carsonella ruddi* con los psílicos, *Portiera aleyrodidarum* con la mosca blanca y *Tremblaya princeps* con las cochinillas), que les suministran los nutrientes deficientes en su dieta. La mosca tsé-tsé se alimenta de la sangre, deficiente en vitaminas del complejo B, que son suministradas por su endosimbionte primario la bacteria *Wigglesworthia glossinidia*. El xilema es el componente del sistema vascular de las plantas que es usado para transportar agua y sales desde las raíces al resto de la planta y es, por tanto, pobre en nutrientes, conteniendo principalmente compuestos inorgánicos y sales minerales, así como pequeñas cantidades de aminoácidos no esenciales, azúcares y ácidos orgánicos. A pesar de esta pobreza nutricional, las chicharrillas de alas cristalinas se alimentan del xilema de las plantas, también gracias a sus bacterias endosimbiontes *Baumannia cicadellincola* y *Sulcia muelleri*. Finalmente, cucarachas y hormigas, son omnívoras y sin embargo también tienen endosimbiontes. La secuenciación del genoma de sus endosimbiontes respectivos, *Blattabacterium sp.* y *Blochmannia sp.* ha demostrado que en ambos insectos las bacterias (en un caso fascinante de convergencia evolutiva) participan en el reciclado del nitrógeno. En todos los casos, la relación insecto-bacteria es de mutualismo obligado, ya que la bacteria suministra a los insectos nutrientes que estos no pueden tomar de su dieta, mientras que la bacteria se beneficia de un ambiente intracelular estable, donde obtiene una fuente permanente de recursos.

La secuenciación de los primeros genomas de bacterias endosimbiontes y la comparación con bacterias emparentadas a éstas pero de vida

libre, ha revelado que todos éstos comparten una serie de características comunes. En la filogenia obtenida con el gen 16S rDNA, considerado el marcador universal, queda claro que *Buchnera*, *Wigglesworthia* y *Blochmannia*, endosimbiontes de pulgones, mosca tsé-tsé y hormigas, respectivamente, están emparentadas con bacterias de vida libre, como *Escherichia coli*. Como éstas últimas tienen tamaños genómicos de 4 a 5 Megabases (Mb) y las bacterias endosimbiontes en torno a 600-700 kilobases (kb), puede verse como en la transición de un estadio de vida libre a un ambiente intracelular, han sufrido una reducción drástica del tamaño del genoma, ya que se han perdido más de 3 Mb de genoma (en torno a unos 3000 genes). Además, se producen otros cambios moleculares, estructurales y bioquímicos, como sesgo mutacional hacia AT, tasa de mutación elevada, pérdida de un sistema eficiente de recombinación y reparación, pérdida del sesgo en el uso de codones y, en algunos casos, presencia de plásmidos de biosíntesis de aminoácidos.

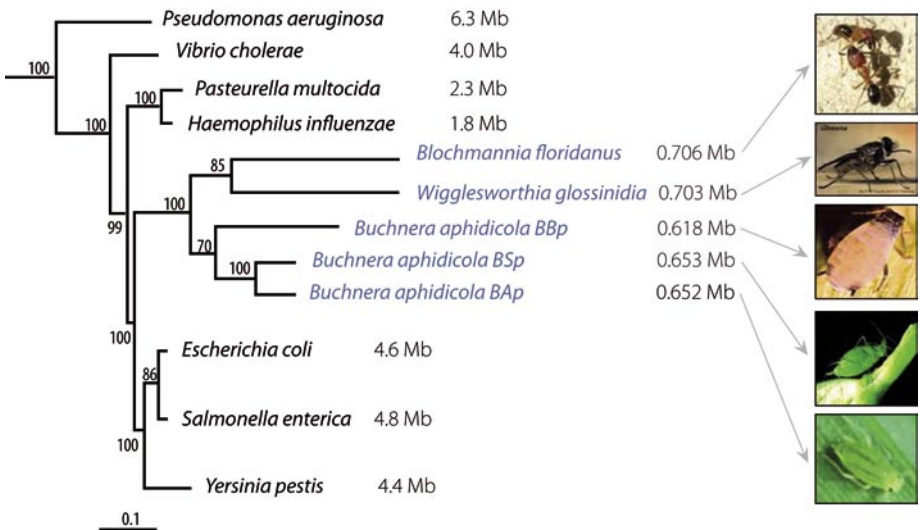
Una de las asociaciones mejor estudiadas es la de los pulgones con *B. aphidicola*, su endosimbionte primario. Los pulgones han desarrollado unas células especializadas, los bacteriocitos, para albergar a las bacterias, que se localizan por debajo del tubo digestivo, como puede observarse en un esquema de la sección transversal de un pulgón. La transmisión es estrictamente vertical, mediante infección de los huevos o embriones tempranos por unas pocas bacterias, por lo que *Buchnera* coevoluciona con sus hospedadores. Estudios filogenéticos indican que el inicio de la asociación entre *Buchnera* y los pulgones fue un suceso único ocurrido hace aproximadamente 180 millones de años. Estudios de pulgones aposimbiontes, tratados con antibióticos, y alimentados con dietas artificiales, demostraron que *Buchnera* suministra los aminoácidos esenciales que el pulgón no puede tomar de la planta.

Hasta el momento se ha secuenciado el genoma de *Buchnera* de cuatro especies diferentes de pulgones, *Acyrtosiphum pisum* (*B. aphidicola* BA_p); *Schizaphis graminum* (*B. aphidicola* BS_g); *Baizongia pistaceae* (*B. aphidicola* BB_p) y *Cinara cedri* (*B. aphidicola* BC_c). Las tres primeras tienen tamaños genómicos similares, entre 615 y 641 kb. El contenido génico de sus genomas corroboró el papel nutricional postulado para *Buchnera*, ya que se encuentran las rutas de biosíntesis de los aminoácidos esenciales que los pulgones no pueden obtener de su dieta, el floema de las plantas.

Genomas mínimos naturales

Cuando secuenciamos el genoma de *B. aphidicola* BCc, endosimbionte del pulgón del cedro, encontramos que su tamaño era de tan sólo 416 kb, unos 200 kb más pequeño que los tres primeros secuenciados. En su momento se trataba del genoma microbiano más pequeño secuenciado. La comparación con las otras *Buchnera* demostró que la reducción genómica era debida exclusivamente a la pérdida de genes codificantes de proteínas (362 en BCc frente a 571, 559 y 507 en el caso de BAp, BSg y BBp, respectivamente). Sin embargo, el análisis funcional de su genoma reveló que con tan sólo 362 genes que codifican proteínas, el genoma de BCc representa un conjunto mínimo de genes capaz de soportar vida celular, ya que mantiene todos los genes necesarios para su propia replicación, transcripción y traducción, así como una red metabólica simplificada para la producción de energía. Por ello, puede considerarse una célula autónoma en un ambiente intracelular particular. Sin embargo, no puede decirse lo mismo en lo que hace referencia a su papel en la simbiosis, ya que BCc ha perdido la capacidad de sintetizar el triptófano, un aminoácido esencial que el pulgón del cedro, así como la propia *Buchnera* necesitan. En algunas cepas de *Buchnera*, los dos primeros genes de la ruta de biosíntesis del triptófano, que codifican para la antranilato sintetasa, se encuentran en plásmidos, mientras que el resto de genes de la ruta se encuentran en el cromosoma principal. En *C. cedri* existe el plásmido con los dos genes, pero se han perdido los genes del cromosoma principal, por lo que BCc no puede sintetizar triptófano.

La solución a este intrigante problema vino de la mano de estudios de microscopía electrónica, ya que demostraron que en el pulgón del cedro *Buchnera* no está sola, ya que hay un segundo tipo de bacteriocitos, donde se encuentra una segunda bacteria endosimbionte, *Serratia symbiotica*, que coexiste con *Buchnera*, formando un consorcio bacteriano. La secuenciación del genoma de *Serratia* ha revelado que ésta tampoco es capaz ella sola de sintetizar el triptófano, pero posee en su cromosoma los genes de la segunda parte de la ruta, que ha perdido *Buchnera*. Estos resultados indican un caso de complementación metabólica. *Buchnera*, sintetiza la antranilato sintasa, que debe de entrar en *Serratia*, donde se encuentra el resto de genes de la ruta para sintetizar triptófano que requiere todo el sistema, *Buchnera*, el pulgón y la propia *Serratia*.



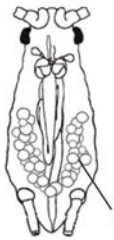
Relación filogenética de cinco bacterias endosimbiontes de insectos (en azul) y bacterias de vida libre relacionadas con éstas. Se indica, para cada bacteria, el tamaño del genoma (en Megabases) de una de las cepas secuenciadas

Se han descrito otros genomas mínimos naturales, como el de las bacterias *Sulcia muelleri* y *Carsonella ruddi*, endosimbiontes de las chicharrillas y de los psílidos, con tamaños aún más pequeños que el de BCc (246 y 160 kb, respectivamente). El caso de *Sulcia* se puede considerar similar al de BCc, puesto que tampoco está sola en las chicharrillas. Forma un consorcio bacteriano con la bacteria *Baumannia cicadellinicola*. El análisis de ambos genomas ha revelado que también tienen capacidades biosintéticas complementarias. Así, mientras *Baumannia* provee al sistema de vitaminas, *Sulcia* codifica para las enzimas implicadas en la biosíntesis de la mayoría de aminoácidos. Sin duda, la presencia de estas dos bacterias ha permitido a estos dos insectos la adopción de un nuevo estilo de vida dependiente del xilema de las plantas.

De endosimbiontes a orgánulos

El caso de *Carsonella* es intrigante, puesto que en los psílidos los investigadores no han encontrado una segunda bacteria como en los

Esquema de un Pulgón

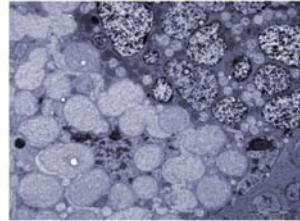


bacteriocitos

El pulgón
Cinara cedri



Buchnera aphidicola
y
Serratia symbiotica



casos anteriores y, sin embargo, *Carsonella* no posee las condiciones para considerarse un endosimbionte mutualista, pues ha perdido la capacidad de sintetizar varios aminoácidos esenciales (histidina, fenilalanina y triptófano). Es más, ni siquiera se puede considerar un organismo vivo, pues ha perdido funciones esenciales que definen la vida, como genes implicados en replicación y transcripción. La pregunta es ¿está *Carsonella* en el camino de convertirse en un orgánulo? Hasta el momento los únicos orgánulos que han evolucionado a partir de ancestros de vida libre por un proceso de endosimbiosis son las mitocondrias y cloroplastos. Para ello ha tenido que ocurrir transferencia de genes al núcleo con la adquisición de una maquinaria sofisticada para importar productos génicos codificados en el núcleo. A día de hoy, todos los intentos de encontrar genes perdidos de *Carsonella* en el núcleo de los psílidos han resultado infructuosos. Habrá que esperar a la secuenciación del genoma para obtener la respuesta. De probarse sería el primer escenario de la transformación en orgánulo de una célula mínima.

Un segundo caso donde se debate actualmente la naturaleza de simbionte o de orgánulo es el de los cromatóforos de la ameba *Paulinella chromatophora*. Estos fueron descubiertos en 1894, como dos cuerpos parecidos a riñones, que son fotosintéticos. Posteriormente se comprobó que estaban emparentados con cianobacterias y no con los cloroplastos de algas y plantas, por lo que podrían representar un segundo e independiente origen de órganos fotosintéticos, por un proceso de simbiogénesis. Sin embargo, la secuenciación del genoma, tuvo que esperar hasta el año 2008. El genoma es sólo de 1,02 Mb, y codifica para 867 proteínas, lo que representa el genoma mínimo de una cianobacteria, lo que indica que, al igual que otros endosimbiontes, ha sufrido una drástica reducción del

tamaño. Contiene un conjunto completo de genes fotosintéticos, pero ha perdido, al igual que *Carsonella*, genes implicados en funciones celulares esenciales. Los datos caracterizan el cromatóforo como una entidad fotosintética que es absolutamente dependiente de la ameba para la supervivencia y crecimiento. Son, por tanto, los únicos descendientes conocidos de cianobacterias, además de los plastidos, con un genoma significativamente reducido que confiere fotosíntesis a su hospedador eucariota. Su comparación con los plástidos y con otros endosimbiontes bacterianos de invertebrados dará luz sobre los primeros pasos en la integración de un procariota fotosintético en una célula eucariótica.

¿Qué nos depara el futuro?

El desarrollo de nuevas técnicas de secuenciación y de herramientas bioinformáticas abre nuevas perspectivas al estudio de la simbiosis. Ahora, gracias a la metagenómica, técnica que permite el análisis independiente de cultivo de comunidades microbianas en sus ambientes naturales, estamos en condiciones de abordar el estudio de simbiosis con comunidades complejas. Es el caso de la microbiota humana, microorganismos que viven sobre y dentro de los humanos, que sobrepasan las células somáticas y germinales por un factor de 10 (se ha sugerido que aproximadamente dos kilos de nuestro peso son microorganismos). Esta microbiota se halla distribuida en distintos hábitats, tales como boca, piel, colon, vagina, estómago, intestino, etc. Por tanto, los humanos podemos considerarnos como "superorganismos" cuyos metabolismos constituyen una compleja amalgama. Cuando se comenta que el cerebro constituye un gran reto de la investigación biomédica actual habría que añadir que el microbioma sigue siendo otro de los grandes retos, pues el desconocimiento que tenemos de ellos es mucho mayor que el de órganos como el corazón o el riñón. Pongamos el caso de la microbiota intestinal humana, que aunque concebida en el imaginario colectivo como comensales o patógenos, ahora sabemos que posiblemente gran parte de la relación con el hospedador es mutualista. Millones de bacterias pertenecientes a cientos de especies diferentes habitan nuestro intestino y con efecto positivo y decisivo en nuestra salud, ya que ayudan a digerir los alimentos, modular el sistema inmune y luchar contra otras bacterias dañinas mediante la producción de factores antimicrobianos. Si entendemos mejor cómo se desarrolla una

microbiota intestinal sana, podremos generar alimentos y suplementos alimentarios que contengan probióticos, bacterias que ayudan a mejorar nuestra salud intestinal.

PARA SABER MÁS

McFall-Ngai, M. (2008). Are biologists in "future shock"? Symbiosis integrates biology across domains. *Nature Reviews Microbiology* 6: 789-792.

Moya, A., Peretó, J., Gil, R. et al. (2008). Learning how to live together: genomic insights into prokaryote-animal symbiosis. *Nature Reviews Genetics* 9: 218-229.

Pérez-Brocal, V., Gil, R., Ramos, S. et al. (2006). A small microbial genome: the end of a long symbiotic relationship? *Science* 314: 312-313.

Viguera, E. (2007). Creación de vida en el laboratorio: ¿Ciencia-ficción o realidad? En: *Encuentros con la ciencia. Del macrocosmos al microcosmos*. Editor. Eduardo Gutiérrez Marí, S.R.L.U. Málaga. 302 pp.

ACERCAR la ciencia al ciudadano... éste es el objetivo principal de *Encuentros con la Ciencia*, un espacio para la presentación y diálogo sobre los más recientes y señalados descubrimientos científicos. Desde el año 2004 venimos organizando las actividades de *Encuentros con la Ciencia* con el objetivo principal de fomentar la cultura científica y presentar, de manos de sus protagonistas, los avances científicos actuales. La labor investigadora de los propios científicos españoles no es suficientemente conocida por el público. En nuestra opinión, resulta evidente la necesidad de dar a conocer la ciencia actual a los ciudadanos y, al mismo tiempo fomentar su interacción con los científicos. *Encuentros con la Ciencia* pretende cumplir tres objetivos específicos: **hacer accesible la ciencia** que se está desarrollando actualmente en los centros de investigación españoles, **sensibilizar al ciudadano** acerca de la importancia de la Ciencia en el día a día, e **implicar a la propia comunidad científica** en esa difusión del conocimiento.



* AMBITO cultural