

So  
cie  
dadCiu  
dada  
nia

Ciencia, Cultura y Sociedad

Unidad de Cultura Científica / UCC

científica

Contacto

2011  
Año internacional  
de la QUÍMICA

## ARTÍCULOS Y ESPECIALES 'Ciencia a Fondo'

MARGULIS' RE-VOLUTION  
¿Viaje al centro de la Tierra?MARGULIS'  
RE-VOLUTION

Investi gadores	Se milla científica	Cien cia a fondo	Ca nal séneca
--------------------	---------------------------	------------------------	---------------------

## ARTÍCULOS Y ESPECIALES 'Ciencia a Fondo'

## GENERACIÓN XXI

## LIBRO DEL MES

Jose S. Carrión, Catedrático de Evolución Vegetal de la Universidad de Murcia para Fundación Séneca.

La muerte nos sucede porque somos organismos eucariotas; o sea, porque nuestras células tienen núcleo y orgánulos celulares, también porque la supervivencia generacional depende de un tipo de reproducción que se ha venido a llamar sexual. A diferencia de las bacterias y las arqueas, cada individuo eucariota es una "novedad" reproductora que deriva de una curiosa combinación de determinismo (genoma heredable) y azar (recombinación y mutación genética). Así pues, el sexo, como promotor de cambio e individualidad, y la muerte, como final de la existencia única, van íntimamente ligados.

Que todo es cambio ya lo decía Heráclito, pero cómo y de qué manera se producen algunos de los cambios más significativos en la historia de la vida es y ha sido el motivo de estudio de la ciencia evolutiva, a la cual amorosamente dedicó su vida Lynn Margulis (1938-2011), a quien un ictus sorprendió fatalmente el pasado 22 de noviembre a la edad de 73 años. La muerte eucariótica la sobrevino en plena faena creativa, como a ella le habría gustado.

Margulis fue una científica precoz. Ingresó por su propio pie y con 14 años en la Universidad de Chicago, donde obtendría su graduación. Posteriormente, culminó un Máster en Genética y Zoología por la Universidad de Wisconsin (1960), se doctoró en Genética en la Universidad de California-Berkeley (1965) y enseñó Geociencias y Biología Evolutiva en la Universidad de Boston durante 22 años. En su última etapa académica fue directora del Departamento de Biología Planetaria de la NASA. Entre tanto, fundó dos sociedades científicas (Simbiosis y Protistología Evolutiva), publicó profusamente libros y artículos, hizo ciencia divulgativa en abundancia, conferenció incansablemente, recibió multitud de premios y honores (Medalla de la Ciencia USA, Premio NASA al Servicio Público, Medalla Darwin-Wallace de la Sociedad Linneana de Londres, Premio Fundación Cristóbal Gabarrón) y fue galardonada con más de una decena de doctorados "honoris causa" incluyendo tres universidades españolas.



Más que nada en los años setenta, Lynn Margulis se hizo popular -eventualmente impopular- por su teoría de la endosimbiosis o simbiogénesis. La teoría establece que las mitocondrias y los cloroplastos tienen su origen en células bacterianas que serían "engullidas" en algún momento de la historia evolutiva, por un organismo hospedante ameboide. Las mitocondrias, centros neurálgicos de la respiración celular, provendrían de bacterias respiradoras. Los cloroplastos, donde tiene lugar la fotosíntesis, provendrían de cianobacterias.

Quiero enfatizar que los orígenes endosimbióticos de mitocondrias y cloroplastos han sido confirmados de forma incuestionable por muchos datos. La demostración más firme proviene del hecho de que las secuencias moleculares del cloroplasto se alinean a la perfección con las de cianobacterias actuales, mientras que las de las mitocondrias lo hacen con proteobacterias. Esta hipótesis filética sigue encajando con todos los datos que se van descubriendo sobre la bioquímica y biología molecular de procariotas. Es también compatible con los rasgos esenciales de la clasificación de las bacterias. Por añadidura, los cloroplastos y mitocondrias son del tamaño apropiado para haberse generado a partir de procariotas; sus membranas internas tienen varios enzimas y sistemas de transporte que recuerdan a aquellos encontrados en la membrana externa que encapsula las bacterias actuales. Ambos orgánulos se duplican durante la división de la célula eucariótica por un proceso que se parece mucho a la división binaria de las bacterias, tienen ribosomas de tamaño bacteriano y con la misma sensibilidad a los antibióticos, como la estreptomycin; y ambos contienen ADN en forma de molécula circular no asociada con histonas u otras proteínas, como ocurre en los eucariotas. Por utilizar un símil informático, ambos contienen su propio pedacito de disco duro, el cual derivaría de un "secuestro" por parte de un organismo de mayor tamaño y con más información acumulada. Lo que resulta fascinante es que buena parte del material genético que incorporan mitocondrias y cloroplastos está descodificado y que justamente se deja de expresar aquella parte del genoma que daría autonomía a los orgánulos. De algún modo, el "rapto" bacteriano implicó que los organismos fagocitados pasarían a formar parte de un consorcio mayor y a cooperar con el organismo capturador.



Para los que puedan pensar que esto es un simplemente uno de los típicos *storytelling* de las ciencias evolutivas, quiero señalar que la endosimbiosis no es sólo un fenómeno histórico. Se trata de una observación constatable actualmente en muchos grupos de organismos, sobre todo en protozoos. Muchos experimentos demuestran que es posible simbiotizar amebas con bacterias patógenas, con beneficios para ambos organismos. Se ha visto, además, que suele tener lugar la transferencia de material desde el cromosoma bacteriano hasta el núcleo de la ameba. Por otro lado, hay pruebas de que el ADN se mueve con bastante facilidad entre compartimentos celulares, aunque no sabemos muy bien cómo lo hace.

Más controvertido resulta el origen del núcleo celular. Conjeturalmente (y así lo reconoció ella misma), Margulis sugirió un modelo a través de la asociación quimérica entre una arquea (como *Thermoplasma* o *Sulfolobus*) y una bacteria con movilidad autónoma (como *Spirochaeta*). Este modelo de fusión encuentra apoyo en la comparación de secuencias de las proteínas de la motilidad. Quizá el problema fundamental sigue siendo la confirmación de que la célula huésped inicial era una arquea.

Margulis no fue una científica a la que le gustara mantener la compostura académica dentro de los corsés oficiales. Así que vagó intelectualmente desde la investigación bacteriana y el origen de la vida en la Tierra, pasando por todos los niveles de organización, hasta el concepto superorganismico conocido como GAIA, colaborando con el famoso químico británico James Lovelock, en lo que con el tiempo pasaría a ser uno de los paradigmas de la revolución conceptual que sustenta el denominado Cambio Global. Para Margulis, las bacterias eran algo más que microorganismos y la Tierra algo más que un planeta. Era Gaia, un sistema vivo autorregulado a nivel de sus procesos físicos y biológicos. Quien disfrutara con la película "Avatar" ya sabe de donde viene la magistral idea de ese *feedback* íntimo entre el mundo físico y los seres vivos.

Las implicaciones de lo que, por razones de extensión acabo de simplificar, son de importancia cardinal. Por ejemplo, gracias a Margulis, la versión moderna del árbol de la vida es reticulada, y no invariablemente ramificada, como pensó Darwin. Toda la evidencia disponible indica que los eucariotas son el resultado de la transferencia lateral de linajes procarionóticos separados. Pero el árbol reticulado de la vida es todavía más curioso porque hay una gran cantidad de pruebas de que algunos linajes fotosintéticos eucarióticos pueden haber derivado desde eventos endosimbióticos secundarios y terciarios.

En el marco de la moderna biología evolutiva, la teoría de la endosimbiosis es un modelo explicativo solvente. El punto de conflicto radica en el énfasis relativo que se pone con la selección natural como fuentes de variación en algunos sistemas vivientes. Para Margulis, las diferencias en la estructura celular que separan a procarionotas de eucariotas representan la mayor discontinuidad evolutiva.

Margulis gustó de trabajar en esa frontera resbaladiza entre lo viviente y lo inerte, lo que ella misma gustaba llamar "geobiología". Los problemas que dialécticamente tuvo Margulis con algunos ultradarwinistas, derivan del hecho de que éstos se atrincheraron desde mediados del siglo XX entre sus revistas profesionales, sus becas y ayudas, sus escuelas y sus métodos. Margulis no fue una científica al uso y siempre gustó de la exploración al margen de los rigores académicos y de la esclerosis de los sistemas burocráticos asociados.

Y es que, hoy, cualquier aproximación mecanicista de los procesos biológicos resulta, una simplificación. Estos son, por naturaleza, intrínsecamente complejos. Las explicaciones fisicistas tienen dos problemas esenciales en biología. El primero es que la complejidad de los organismos hace imposible su evaluación a través de leyes puramente físicas. Los seres vivos operan a niveles muy diferentes del átomo. La evolución no es un proceso mecánico, sino histórico. En biología, incluso más que en física, el conjunto tiene un significado superior al de las partes y sus interacciones. Los biólogos a veces rechazan el holismo como si se tratara de una aproximación mística, próxima al vitalismo más retrógrado. Pero un organismo, nos guste o no, es una entidad, como una catedral, en la que las piedras comprenden poco del sentido de la estructura global.

La obra monumental de Margulis, preñada de grandes ideas y sugerentes líneas de investigación para el futuro, nos enseña que, en evolución, las generalizaciones son peligrosas. Existen pocos procesos que se puedan aplicar a todos los seres vivos, puesto que la genética difiere. Las bacterias son haploides y a veces reciben inyecciones de ADN, los protozoos exhiben algunas prácticas evolutivas raras, tales como la renovación del núcleo, las plantas multiplican cromosomas, tienen a veces fecundación doble o múltiple, mutaciones somáticas y otras complicaciones. Deberíamos ser capaces de formular preguntas nuevas fuera del paradigma prevalente. Eso nos lo ha recordado Lynn Margulis. Descanse en paz. O mejor, que su muerte eucariótica signifique un viaje por espacios intercelulares a la velocidad de sus queridas bacterias nadadoras.