

¿EVOLUCIÓN Y ALTRUISMO?

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS
ANTROPOLOGÍA: Origen y Evolución del Hombre
Profesor Máximo Sandín.

Alejandra Quiroga del Río

ÍNDICE

CONTENIDO	PÁGINAS
1. Introducción.....	2
2. Cooperación y simbiosis	4
a) Evolución y simbiosis	4
b) Cooperación y endosimbiosis	5
c) Transmisión del complejo simbiótico	7
3. Teoría Endosimbiótica Seriada (SET)	9
4. Simbiogénesis	13
5. Bibliografía	15

1. INTRODUCCIÓN

En todos los ámbitos culturales actuales al tratar el tema de la evolución, es inevitable toparse con expresiones antropocentristas utilizadas para extrapolar al mundo natural comportamientos exclusivamente humanos. Así, son muy utilizados e indiscutiblemente aceptados términos como competencia, egoísmo, asesinos, coste – beneficio, costes energéticos, ventajas competitivas, etc. que sin duda resultan muy útiles a la hora de describir las actividades humanas tan en boga hoy en día pero que, no obstante, distorsionan la imagen de la naturaleza.

Tal vez ya sea hora de reconocer que los seres vivos no tienen por qué actuar de la misma manera que los humanos y, por tanto, no existe una razón por la cual deban cometer los mismos errores; es posible, que en lugar de preocuparse tanto por la destrucción del vecino tengan más interés en asociarse con él y juntos buscar una solución a sus problemas que les permita sobrevivir, aunque esto a la larga implique la pérdida de la identidad individual de cada uno de ellos.

Estos procesos que aún hoy en día gozan de muy poca aceptación en el mundo científico no han sido planteados recientemente. Desde finales del siglo XIX en Europa la comunidad académica ya había denominado la adquisición y herencia de simbiontes bacterianos como simbiogénesis. La abundante bibliografía en ruso, alemán y francés no resultó, sin embargo, asequible a los científicos anglosajones que, de esta manera, no tuvieron acceso a los trabajos de Konstantin S. Merezhkowski (1909), Andrey Faminstyn, Kozo-Polyansky y Paul Portier (1918) entre otros.

En 1918 Paul Portier publicó su tratado *Les Symbiotes* y proporcionó los primeros datos a favor del origen bacteriano de las mitocondrias y su integración en todas las células de los “organismos superiores”. Para obtener la prueba definitiva de ello intentó aislar mitocondrias de distintas células y cultivarlas en el laboratorio. Como no pudo demostrarlo fue duramente criticado por la comunidad científica francesa. Sin embargo, ya en 1909 K. S. Merezhkowski había formulado su hipótesis de la relación genética entre los cloroplastos y las cianobacterias.

No es hasta 1927 cuando Ivan Emmanuel Wallin (1890 – 1967), profesor de anatomía de la Escuela de Medicina de la Universidad de Colorado escribe *Symbiogenesis and the origin of Species*. Wallin inventó su propio nombre para la simbiogénesis microbiana a la que denominó *formación de compuestos microsimbóticos* y postuló que el simbioticismo es el factor fundamental involucrado en el origen de las especies, para él *de la misma manera en que la reproducción consolida la perpetuación de las especies existentes la simbiosis asegura el origen de nuevas especies*.

Entre 1970 y 1981 la existencia de genes citoplasmáticos se hizo evidente al identificarse el ADN circular asociado a mitocondrias y cloroplastos. Al conocerse que estos orgánulos tenían todos los contenidos necesarios para la vida reapareció la teoría endosimbiótica defendida principalmente por Lynn Margulis. Fue ella quien, integrando todos los datos, postuló la Teoría Endosimbiótica Seriada (SET) que

explica el origen de la célula eucariota mediante la fusión de distintos microorganismos.

La simbiosis a todos sus niveles es un proceso que tradicionalmente ha sido ignorado por todos aquellos que se dedican a la evolución y, que cuando no les ha quedado más remedio que aceptarlo, ha sido relegado al plano de las excepciones de los procesos evolutivos.

Actualmente a todos los procesos que no impliquen competición y a los que no pueden tratarse con el concepto tradicional de “selección natural” se les aplica el de “selección familiar”, que implica la supervivencia no de un organismo, pero sí del grupo o de la especie como unidad de selección. Sin embargo, aún admitiendo esta posibilidad (bastante absurda por otra parte) se mantiene la afirmación de que todos los actos de cooperación también son motivados por el interés particular de los organismos que la realizan.

No obstante, es probable y, cada vez se tienen más indicios de ello, que una parte importante de la innovación evolutiva ocurrida a lo largo de la historia haya sido originada por la simbiosis de diferentes organismos a distintos niveles, siendo los más básicos la integración de material genético vírico en los genomas bacterianos y el traspaso de este tipo de material entre ellas.

Por todo esto es necesario para el correcto desarrollo de la Biología como ciencia aceptar no sólo la simbiogénesis como fuerza generadora de diversidad biológica, sino también admitir todos los tipos de interacciones entre organismos y poblaciones y las relaciones que éstas mantienen con los elementos físicos y químicos de la naturaleza y, lo más importante, que no lo hacen por sus oscuros intereses particulares.

2. COOPERACIÓN Y SIMBIOSIS

1. Evolución y simbiosis

A pesar de tratarse de un proceso tradicionalmente apartado de la teoría evolutiva dominante o de ser considerado como una excepción a las leyes por ella postuladas, la simbiosis constituye no solamente el principal motor evolutivo sino que, de manera clara y fácilmente reconocible para profanos en la materia, se encuentra en la mayor parte de los organismos de la naturaleza. De esta manera *la mayoría de los ecosistemas terrestres actuales depende fundamentalmente de la simbiosis: el 90% de las plantas terrestres presentan micorrizas (asociaciones entre plantas y hongos en las raíces) y prácticamente todos los mamíferos e insectos herbívoros morirían sin los simbiosistas que digieren la celulosa* (D. C. Smith, 1989).

Si se toma como principal motor evolutivo los procesos simbióticos es inmediata la clara contradicción que esto supone a la teoría neodarwinista que promulga los cambios graduales y al azar como mecanismo evolutivo. La simbiosis origina cambios repentinos en los individuos que al adquirir nuevos organismos y sus respectivos genomas cambian sus características súbitamente y, por si esto no fuera suficiente, no es de un cambio al azar, pues se trata de una reacción de los organismos a las condiciones ambientales adversas.

Por otra parte, los resultados de estas interacciones están perfectamente de acuerdo con los datos obtenidos en la observación del registro fósil, tal y como lo postularon S. J. Golud y N. Eldredge en su Teoría del Equilibrio Puntuado. De esta manera el registro fósil representa la evolución como estática la mayor parte del tiempo con grandes cambios en períodos pequeños de tiempo. Lo que durante mucho tiempo se consideró como la imperfección de los registros actualmente ha tenido que ser sopesado más seriamente por los paleontólogos ortodoxos al haberse descubiertos yacimientos muy completos que demuestran cambios bruscos (geológicamente hablando) en la organización de los organismos.

Al estar el registro fósil de acuerdo con la simbiosis como mecanismo evolutivo es perfectamente lícito descartar a las omnipresentes mutaciones al azar como las encargadas de la evolución. Las mutaciones son errores de copias al replicar el DNA antes de la división celular y, de forma natural, su frecuencia es de alrededor de $10^{-10} - 10^{-8}$ por par de base replicado (Reanny, 1987); si a esto añadimos que los organismos poseen diversos mecanismos de reparación de los errores producidos durante la replicación (como el SOS), que la mayoría de las mutaciones son letales y, por tanto, se traducen en organismos no viables, y que existen numerosas mutaciones silenciosas que no provocan cambios, la evolución así planteada sería totalmente imposible en un plazo de tan solo 3.500 millones de años.

De esta manera son cada día más los biólogos que abogan por un reconocimiento de la simbiosis como mecanismo neo-lamarckiano en el sentido de la herencia de genomas adquiridos (Sapp, 2003), arguyen que debido a que la simbiosis integra genomas procedentes de toda la biosfera los cambios resultantes son mucho más importantes que aquellos producidos por las mutaciones.

2. Cooperación y endosimbiosis

Al contrario de lo que la teoría tradicional sobre evolución nos asegura constantemente, en situaciones medioambientales adversas los organismos tienden a agruparse y a trabajar conjuntamente para dar con las soluciones adecuadas. Normalmente las bacterias se encuentran en comunidades de variedad metabólica en las que cada tipo desempeña una labor en un proceso conocido como escotosimbiosis, pero cuando las condiciones ambientales se vuelven extremas las bacterias usan con frecuencia el intercambio de genes y *las asociaciones de cepas metabólicamente complementarias como mecanismo de supervivencia mutua* (S.Sonea, 1989). Si los organismos que cooperan estrechamente pertenecen a distintas especies se conocen entonces como relaciones simbióticas. La integración de los organismos puede producirse a distintos niveles, siendo el más básico la coordinación de comportamientos.

En el caso de que la relación entre esos dos organismos desemboque en la creación de un nuevo tipo de individuo (distinta especie, género...) se habla de simbiogénesis. El resultado de esto sería un estado de no retorno a la individualidad de los organismos que quedarían integrados unos en otros irremediamente. La nueva situación provoca importantes cambios morfológicos, estructurales y metabólicos en los individuos involucrados ya que, en cierta manera, deben sincronizarse y especializarse en aquella tarea que en principio resultaba beneficiosa o imprescindible para su compañero.

La generación de nuevos taxones por parte de la simbiosis es perfectamente plausible, ya que la integración de sus componentes es total, lo que implica la fusión y reorganización de sus genomas y la obtención, por tanto, de nuevas características completamente ajenas a aquellas que poseían los organismos originales. Los últimos datos apuntan que para que los constituyentes del complejo desarrollen características beneficiosas para todos debe realizarse una compartimentalización efectiva y debe haber relativamente pocas entidades de cada tipo por departamento.

El establecimiento de relaciones endosimbióticas es un proceso complicado. En muchos casos las bacterias simbióticas se encuentran libres en el citoplasma de la célula después de haber perdido la membrana que la envolvía al penetrar en ella, esta pérdida permite una mayor tasa de intercambio de sustancias entre ellas pero implica una compatibilidad inmunológica entre los organismos que es probable que se haya adquirido durante la cohabitación.

Los procesos de endosimbiosis están siempre asociados a la adquisición de nuevo material genético, la especialización y la alteración de algunas estructuras y funciones de los organismos implicados y tendrá, por tanto, como resultado, la aparición de distintos tipos de organismos que serán capaces de ocupar diferentes nichos ecológicos. La formación de un taxón u otro únicamente estaría supeditada a la distancia filogenética entre los individuos implicados, cuanto mayor sea ésta de mayor categoría será el taxón resultante.

A pesar de que la célula sea la unidad mínima de la vida, ya que un proceso tan complejo como este es necesario llevarlo a cabo en una situación de relativo aislamiento con respecto al medio, los virus han jugado un papel muy importante

para la evolución. Los organismos pueden también adquirir nuevos caracteres por acumulación de virus, plásmidos y fragmentos cortos de ADN que se integren en su genoma. Esto supone un importante proceso de transmisión horizontal de información genética que es ampliamente utilizado por las bacterias.

Sólo el genoma humano contiene una enorme cantidad de retrovirus endógenos derivados de antiguas infecciones víricas que han permanecido en él y que, tras numerosas replicaciones y traslocaciones, intervienen en diversos procesos de gran importancia en el desarrollo embrionario (Sentís, 2000). Así mismo, el genoma contiene alrededor de 200 genes de origen directamente bacteriano que se desconoce cómo se integraron pero que, muy probablemente, fueron adquiridos mediante virus (Margulis, 2002).

Generalmente los fragmentos de ADN de origen vírico tienen una gran capacidad para replicarse, traslocarse, transportarse e hibridarse con otros fragmentos de material genético aportando así una fuente muy elevada de variabilidad de forma inmediata. De la misma manera las bacterias pueden intercambiar entre ellas plásmidos (material genético extracromosómico que se divide de forma independiente) mediante el proceso conocido como conjugación, en el cual si el plásmido está inserto en un genoma, al dividirse para pasar a otra bacteria puede arrastrar con él algunos genes bacterianos.

Por otra parte, las bacterias también poseen la asombrosa habilidad de integrar en su cromosoma fragmentos de ADN monocatenario de origen externo que les confiere características totalmente nuevas. Todos estos fragmentos de distinto origen e integrados en los genomas de diferentes formas pueden considerarse caracteres adquiridos que serán transmitidos a la descendencia y, en consecuencia, el motor evolutivo por excelencia.

3. Transmisión del complejo simbiótico

Otro aspecto fundamental en las relaciones simbióticas es la transmisión de la cooperación. En el caso de los endosimbiontes (organismos totalmente integrados físicamente en otros) y si el individuo “hospedador” es unicelular el simbiote se divide con ella y pasa directamente a las células hijas.

En el caso de los organismos pluricelulares la transmisión directa es mucho menos frecuente, pero puede ocurrir cuando el endosimbionte se localiza en las gónadas y se trasmite por la línea germinal en los procesos de reproducción sexual o por la línea somática en los de reproducción asexual. Sin embargo, en la mayoría de los casos la unión no es tan íntima y los procesos simbióticos resultan ser cíclicos; las fases juveniles de los nuevos organismos necesitan para su supervivencia o para mejorar sus condiciones de vida encontrar los simbiotes que les confieren ciertas propiedades de las que de otra forma carecen.

En el caso de la simbiosis entre foraminíferos (cnidarios) y algas, en formas tanto bentónicas como planctónicas, el alga es intracelular dentro de una vacuola. Estos organismos se reproducen por alternancia dimórfica de generaciones y, por tanto, las formas simbiotes se eliminan en la reproducción sexual y la progenie

debe ser reinoculada con algas; sin embargo, durante la reproducción asexual la propagación de la simbiosis es directa.

Es curioso observar que existen distintos ejemplos en los que la capacidad reproductiva del organismo “hospedador” se ve notablemente incrementada en convivencia con su compañero. Es el caso del gorgojo *Sitophilus oryzae* y de su bacteria simbiote desconocida, pues no ha podido aislarse en laboratorio; ésta se localiza en las gónadas femeninas y en unos bacteriosomas especiales en ambos sexos; por tanto es transmitida por vía materna. En aquellas especies que sí contienen bacterias simbiotes los ratios de conversión de alimento ingerido y la tasa reproductiva es considerablemente mayor que en aquellos individuos que no presentan endosimbiontes.

La simbiosis hereditaria es, en consecuencia, un mecanismo evolutivo basado en la adquisición de organismos completos por parte de otros y la integración de genomas de distintas procedencias que otorgan a los organismos resultantes unas características novedosas de forma brusca. De esta manera los árboles filogenéticos tradicionales deberían ser sustituidos por otros que hayan sido diseñados teniendo en cuenta los largos períodos de estasis en las organizaciones de los organismos seguidas por anastomosis que darían lugar a cambios súbitos.

3. TEORÍA ENDOSIMBIÓTICA SERIADA (SET)

Desde los años setenta Lynn Margulis ha postulado, cada vez sustentándose en más evidencias, la integración sucesiva de organismos procariotas para la formación de la célula eucariota. El principal apoyo a esta teoría se ha encontrado en el ADN circular que mitocondrias y cloroplastos poseen y que supondría el remanente de un cromosoma bacteriano; pero la teoría completa va más allá e incluye dentro de los orgánulos de origen bacteriano directo a los cilios y flagelos y, por extensión, al aparato mitótico de eucariotas.

Uno de los mayores detractores de Margulis ha sido desde los años ochenta Max Taylor que propone un modelo alternativo conocido como Teoría de la Filiación Directa, según la cual las mitocondrias, los cilios y los flagelos se habrían originado por ADN “huído” del núcleo. Las células eucariotas habrían evolucionado directamente por distintos cambios (supongo que graduales) ocurridos en un único tipo de bacteria antecesora.

Para explicar la integración de organismos unicelulares dentro de otros individuos Sitte propuso en 1983 cuatro pasos que conducen al aumento de la dependencia mutua en los procesos de endocitobiosis o endosimbiosis.

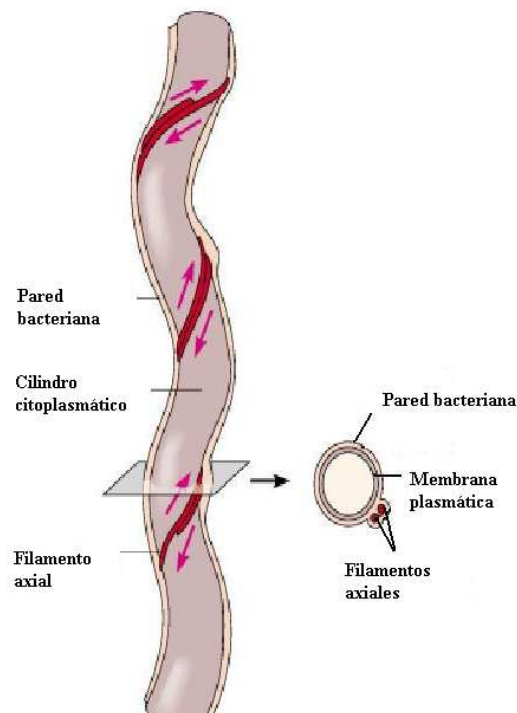
- **No obligatoria:** ingestión sin digestión. En este proceso se encuentran implicadas señales, presuntamente químicas, y receptores encargados de que o bien no se produzca la unión de los lisosomas a los fagosomas o bien de prevenir mediante un sistema desconocido la acción destructora de las hidrolasas.
- **Obligatoria:** en esta etapa los citobiontes ya pueden ser heredados directamente o se ha asegurado un mecanismo de “reinfeción” de los descendientes. En la naturaleza los organismos ya sólo se encuentran en la forma de simbioses pero cultivados de forma separada en laboratorio los dos organismos son todavía viables.
- **Establecimiento:** la dependencia mutua de los organismos alcanza un nivel en el que ya es imposible cultivar en el laboratorio a los organismos de forma separada. Existe un intercambio permanente de metabolitos y la transferencia genética ya es posible.
- **Organular:** la característica fundamental es la transferencia de nucleosidos entre los organismos y la transmisión de material genético del microorganismo englobado al hospedador. El microorganismo ya funciona como un orgánulo por lo que las proteínas que necesita son sintetizadas en el citoplasma celular y luego le son transferidas. Sin embargo, aún presenta remanentes de su anterior vida libre en forma de la doble membrana que lo envuelve.

La Teoría Endosimbiótica Seriada ha sido propuesta para explicar la eucariosis o el paso de las bacterias a las células eucariotas, lo que supone el salto evolutivo más importante de la historia, pues se trata de la mayor diferenciación súbita ocurrida. De esta manera se explicaría la aparición de la célula nucleada y muchas de sus estructuras a partir de la fusión de sucesivos procariotas.

- ❖ Hace unos 2000 millones de años el ambiente en la Tierra era ácido y las temperaturas bastante elevadas. Por tanto, el primer paso de la eucariosis habría sido la unión de una arqueobacteria del sulfuro fermentadora o termoacidófila del tipo *Thermoplasma acidophilum* con una bacteria gram negativa nadadora semejante a las espiroquetas. Juntas constituyeron el nucleocitoplasma nadador y anaerobio. Posiblemente el consorcio se formó debido a la necesidad de la espiroqueta de protegerse, dentro de la arqueobacteria, de las crecientes concentraciones de oxígeno y de su avidez por el sulfuro de hidrógeno que ésta probablemente produciría.

Las *Thermoplasma acidophilum* son arqueobacterias aerobias facultativas y quimiorganótrofas que realizan la respiración del sulfuro. Sus condiciones óptimas de crecimiento son a 55° C y pH 2. Estas arqueas carecen de pared y su membrana está formada por un lipoglicano consistente en un lípido tetraéter con unidades de glucosa y manosa y glicoproteínas; con todo ello consigue un alto grado de empaquetamiento necesario para soportar la presión osmótica, las elevadas temperaturas y la acidez. El genoma de *Thermoplasma* es muy pequeño y se encuentra unido a proteínas básicas similares a las histonas que lo organizan en pequeños glóbulos semejantes a los nucleosomas de los eucariotas.

Las espiroquetas son bacterias gram negativas, móviles, delgadas y con morfología de tornillo; la célula está formada por el llamado cilindro citoplasmático y la motilidad se la confieren los filamentos axiales que se anclan en los polos en un poro de inserción y que, al encontrarse en el espacio periplásmico y tener estructura similar a la de los flagelos, se denominan endoflagelos.



En el interior de este primer complejo se formaría un sistema de orgánulos conocido como cariomastigonte, constituido por el núcleo, un conector proteico con el cilio y el propio cilio; originalmente el conector

nuclear ligaría a la antigua espiroqueta, ahora convertida en el orgánulo encargado de la motilidad, con el núcleo.

El núcleo envuelto en una membrana se originaría a partir de la fusión de los dos cromosomas bacterianos mediante cualquier mecanismo de los conocidos de transferencia genética entre bacterias. La aparición de los distintos cromosomas puede haberse debido al espectacular aumento del tamaño del genoma fusionado y a la dificultad para replicarlo junto. Para explicar este proceso actualmente parece renacer la Teoría de la Fisión Cariotípica de Neil Todd, según la cual sería posible la escisión de los distintos cromosomas por los centrómeros cuando estos se dividen con una tasa superior a la celular.

Debido a la integración de una célula dentro de otra proliferarían las membranas dando lugar a un núcleo diferenciado unido al cilio. Posteriormente el núcleo se escindiría en algunas especies, pues hoy es posible encontrar organismos que los mantengan unidos como es el caso de *Gyronympha*, un paramecio que presenta cariomastigotes asociados con numerosos acariomastigotes, numerosos núcleos que se han dividido de forma independiente de los filamentos que a los que se encontraban asociados y en la zona en la que debería encontrarse el núcleo existe un gran espacio rodeado de túbulos y fibras. En general los cariomastigotes se atrofiaron y dejaron como legado los centriolos que forman el huso mitótico durante la división celular y los filamentos han permanecido con estructuras muy similares en forma de cilios y flagelos.

- ❖ En una segunda fase se incorpora al complejo una bacteria respiradora de oxígeno, debido a al incremento de la concentración atmosférica de éste, que permitió que la asociación fuera capaz de fagocitar grandes partículas de comida y, posiblemente, que aumentara la tasa de reproducción celular.

Una de las mejores candidatas a ser la antecesora de las mitocondrias es la *Rickettsia*. Estas pequeñas bacterias gram negativas son parásitos intracelulares obligados y todavía no ha sido posible cultivarlas en un medio de laboratorio aisladas. Bastante estudiadas por ser el agente causante de enfermedades como el tifus estos organismos penetran en las células y se deshacen de la membrana del fagosoma multiplicándose libremente en el citoplasma de la célula infectada. Poseen una cadena respiratoria completa con citocromos, son capaces de transportar electrones, de fosforilar y de utilizar el NADH como donador de electrones; pueden también sintetizar pequeñas macromoléculas y factores de crecimiento.

Las *Rickettsia* no pueden sobrevivir fuera de una célula hospedadora y, por tanto, son transmitidas directamente entre animales mediante vectores artrópodos. A pesar de deshacerse de la membrana del fagosoma y de causar diversas enfermedades constituyen una buena propuesta de antecesor mitocondrial no sólo por la similitud de su material genético sino también por el hecho de ser uno de los pocos grupos bacterianos cuyos integrantes son, salvo una excepción, parásitos intracelulares obligados que ya podrían estar próximos a la fase de establecimiento propuesta por Sitte.

- ❖ En un último paso el consorcio adquiriría la colaboración de una bacteria verde fotosintética, constituyendo así las primeras algas verdes nadadoras. Existen diversas líneas de discusión acerca del origen de la bacteria adquirida, algunos investigadores abogan por su pertenencia al grupo de las cianobacterias, mientras que otros ven al cloroplasto primitivo como un antecesor común de cianobacterias unicelulares y proclorofitas.

Las cianobacterias tienen una pared celular semejante a la de las bacterias gram negativa con peptidoglicano. Son productoras de oxígeno y, casi todas, fijadoras obligadas de dióxido de carbono (fotoautótrofas obligadas). El aparato fotosintético se encuentra en sistemas de membranas, conocidas como tilacoides, generalmente laminares o concéntricas. Como pigmento principal cuentan con clorofila a (bacterioclorofila a) y ficobilinas que actúan como pigmentos accesorios. En este grupo la bacteria más parecida a los cloroplastos sería la cianobacteria unicelular *Synechococcus*. Por otra parte, el rasgo de mayor interés de las proclorofitas en cuanto a su relación con los cloroplastos es, sin duda, la ausencia de ficobilinas y la presencia de clorofilas a y b, al igual que ocurre en los orgánulos.

Es preciso aclarar que no es necesario que se produzcan las tres inserciones de nuevos organismos para que se produzca la formación de células procariotas; de hecho, hoy en día se conocen organismos nucleados que carecen de mitocondrias y cloroplastos, como es el caso de *Giardia*, *Encephalitozoon* y *Tricomonas*. Tradicionalmente se ha querido considerar a estos organismos como la evidencia de que no es necesario un proceso simbiótico para la eucariosis, sin embargo, recientemente se ha identificado ADN bacteriano integrado en el genoma de estos organismos. Aunque los científicos ortodoxos lo han interpretado como una simbiosis que fue rechazada por la célula hospedadora debido a que no le aportaba ventajas suficientes, sabemos que la procedencia de ese ADN es de la primera fusión entre procariotas que originó el núcleo celular.

En el mundo científico actualmente ya está prácticamente aceptado por todos el origen simbiótico de mitocondrias y cloroplastos, ya que éste está apoyado en muchas más pruebas de las que hasta ahora se ha conseguido obtener para el núcleo en sí y los flagelos. Uno de los principales puntos de apoyo de esta teoría es la existencia de ADN en mitocondrias y cloroplastos que codifica para rRNA, tRNA y proteínas de la cadena respiratoria; así mismo, en el núcleo de estas células se encuentra ADN de origen bacteriano que regula funciones relacionadas con ambos orgánulos y los antibióticos como la estreptomycin, que interfieren en la función de los ribosomas 70S inhiben también la síntesis proteica en mitocondrias y cloroplastos. Otra característica especialmente significativa de estos orgánulos es su reproducción de distinta forma y en un período diferente al de la célula.

4. SIMBIOGÉNESIS

Las simbiosis estables a largo plazo que desembocan en un cambio evolutivo se denominan simbiogénesis. En función de este término utilizado para explicar la aparición de nuevas organizaciones Lynn Margulis propone una nueva definición de especie que pueda aplicarse a todos los organismos vivos, al contrario de lo que ocurre actualmente con la definición biológica que sólo es válida en zoología y, en algunos casos, en botánica. Así establece que para que dos individuos sean de la misma especie *tienen que estar compuestos por los mismos conjuntos de genomas integrados, tanto cualitativa como cuantitativamente* (Margulis y Sagan, 2003).

Como ya hemos visto anteriormente existen distintas fases previas a la simbiogénesis en las que los organismos que cohabitan ya se confieren propiedades muy importantes unos a otros pero que no son esenciales. Un ejemplo ilustrativo es el caso de las mirsináceas y, especialmente los miembros del género *Ardisia*. En ellas la morfología lobulada de las hojas es de origen bacteriano desconocido; se trata de simbioses heredados a través de la flor y del embrión que se encuentran entre las células de los nódulos de las hojas. Si se eliminan las bacterias de la planta ésta es enana e incapaz de florecer y reproducirse. A pesar de no tratarse de un elemento intrínseco de la planta, las propiedades que le confiere se utilizan como carácter taxonómico para distinguir las especies.

Existe un caso aún más susceptible de ser considerado como la generación de una nueva especie: el de *Euplotidium itoti*. El género de protoctistas unicelulares *Euplotidium* consta de seis especies cuya característica distintiva es una banda bacteriana superficial que rodea todo el organismo. Estas bacterias apiladas se diferencian formando unas protuberancias en cuyo extremo se encuentran el ADN y distintas proteínas constituyendo una estructura de cinta enrollada que envuelve una red de túbulos muy semejantes a los microtúbulos de eucariotas. Cuando el protoctista se siente amenazado por un depredador dispara rápidamente todas las cintas enrolladas contra él.

Este mecanismo es utilizado por todos los integrantes del género, pero en el caso de *Euplotidium itoti* no son bacterias la que llevan a cabo la función de defensa del organismo, los encargados son, por el contrario orgánulos extracelulares. Se supone pues, que los protoctistas han llegado a asimilar a sus antiguos simbioses dentro de su célula y que éstos siguen llevando a cabo una función defensiva para todo el organismo. Es por esto que *Euplotidium itoti* se considera una especie distinta de aquellas que todavía tienen sólo bacterias simbioses.

Otro fenómeno de especial interés en la simbiogénesis es la endosimbiosis secundaria. Este proceso que ha sido estudiado mayoritariamente en algas implica la adquisición por parte de un organismo de otro que previamente ya había incorporado un citosimbionte. Observando un grupo de parásitos que incluye a *Toxoplasma* se distinguen unos orgánulos con morfología y estructura muy similar a la de los cloroplastos que, se ha deducido, provienen de la integración de un alga en el parásito.

Las primeras evidencias se obtuvieron cuando se reconocieron tres fragmentos distintos de material genético en otro integrante del grupo: *Plasmodium*. Se diferenció el genoma del parásito de una molécula de ADN circular y otro pequeño fragmento; en un primer momento se supuso que el genoma circular correspondía a aquel asociado a las mitocondrias, pero un análisis más exhaustivo demostró que tenía características y secuencias propias del ADN de plastos de algas y plantas, mientras que el pequeño fragmento lineal sí era el mitocondrial.

Marcando el ADN circular se observó que se alojaba en unos pequeños orgánulos de función desconocida, pero lo que resultó más sorprendente fue el hecho de que dicho orgánulo poseyera cuatro membranas. Si se tiene en cuenta el origen doblemente simbiótico de los orgánulos el número de membranas no debe resultar extraño, pues las dos más internas corresponderían a la de la célula original y la del primer fagosoma, la siguiente a la del alga y la más externa a la de la nueva vacuola que se habría creado al ingerirla el parásito.

Una prueba sin duda mucho menos contundente es aquella que, basada en un solo gen, asegura que el ADN encontrado es más similar al de los plastos que al de las bacterias verdes fotosintéticas. No obstante, esto abre las puertas a considerar la evolución como un proceso continuo de adquisición de organismos que previamente pueden o no haber asimilado otros y que mantienen su función original o un similar o, como ocurre en el caso de los parásitos, realizan una función bastante diferente.

Hoy en día numerosos botánicos consideran que la endosimbiosis secundaria ha sido el mecanismo de adquisición de plastos por parte de algas verdes y rojas, ya que estas no sólo presentan estos orgánulos rodeados por varias membranas, sino que en algunos casos incluso se observan remanentes del núcleo de la célula recientemente integrada.

5.BIBLIOGRAFÍA

- ❖ AAVV, “La Biología del Futuro. ¿Qué es la vida? Cincuenta años después.” Tusquets Editores, Barcelona, 1999.
- ❖ AAVV, “Symbiosis as a Source of Evolutionary Innovation.” The MIT Press, 1989.
- ❖ Madigan, J. M. Martinko, J. Parker. “Brock. Biology of Microorganisms.” Prentice Hall, 2003.
- ❖ L. Margulis, “The Symbiotic Planet”
- ❖ L. Margulis y D. Sagan. “Captando Genomas” Editorial Kairós S.A., 2003
- ❖ M. Sandín. “Lamarck y los mensajeros. La función de los virus en la evolución” Ediciones Istmo, 1995.
- ❖ M. Sandín. “Sucesos excepcionales de la evolución”
- ❖ M. Sandín. “Hacia una nueva biología” ARBOR, CLXXII, 677 (Mayo)
- ❖ J. Sapp. “Genesis. The Evolution of Biology” Oxford University Press, 2003.
- ❖ C. Sentís. “Retrovirus endógenos humanos: Significado biológico e implicaciones evolutivas” ARBOR, CLXXII, 677 (Mayo)
- ❖ G. Vogel. Volume 275, Number 5305, Mar 1997. *Science*.