



7 DE SEPTIEMBRE DE 2025



# ENSAYO

## TEORIA DE ENDOSIMBIOTICA

ERICK ALEXANDER CRUZ JIMENEZ.

DR. CULEBRO RICALDI JOSE MIGUEL

BIOQUIMICA



## Introducción

La teoría endosimbiótica constituye uno de los paradigmas más influyentes en la biología moderna al explicar el origen de las células eucariotas. Propuesta por primera vez en el siglo XIX como una conjectura aislada y retomada con firmeza por Lynn Margulis en la década de 1960, esta teoría sostiene que organelos como las mitocondrias y los cloroplastos derivan de bacterias que establecieron una relación simbiótica estable dentro de otra célula (Margulis, 1967). La propuesta desafió la visión reduccionista de la evolución basada únicamente en mutaciones al azar y selección natural, al introducir la cooperación como un mecanismo central en la aparición de nuevas formas de vida.

La relevancia de esta teoría no solo radica en explicar un evento histórico en la evolución de la vida, sino en su impacto actual en campos como la medicina, la biotecnología y la ecología. Según Alberts et al. (2015), “comprender la naturaleza endosimbiótica de las mitocondrias y cloroplastos es indispensable para el estudio de la biología celular y molecular” (p. 230).

Este ensayo tiene como objetivo analizar la teoría endosimbiótica desde sus fundamentos, revisar las principales evidencias morfológicas, genéticas y bioquímicas, así como explorar sus implicaciones evolutivas, su relevancia científica y médica, y los debates que aún persisten en torno a ella.

## Antecedentes históricos de la teoría endosimbiótica

Aunque Margulis es la figura central en la formulación moderna de la teoría endosimbiótica, antecedentes relevantes incluyen observaciones iniciales de organelos con similitudes morfológicas y funcionales a bacterias (Castro-Muñozledo, 2022). Margulis (1967) publicó un artículo fundamental, *On the origin of mitosing cells*, en el cual argumentó que las células eucariotas no surgieron únicamente por acumulación de mutaciones, sino mediante la fusión simbiótica de linajes distintos: “La célula eucariota es producto de una serie de endosimbiosis seriadas” (Margulis, 1967, p. 230).

El impacto conceptual de la propuesta fue inicialmente controvertido. Muchos biólogos consideraban improbable que organismos completos pudieran fusionarse de manera tan estable, y que esta cooperación pudiera producir nuevas líneas evolutivas. Margulis enfrentó críticas que cuestionaban la plausibilidad de que mitocondrias y cloroplastos derivaran de bacterias (Lane, 2006). Sin embargo, la acumulación de evidencias experimentales en décadas posteriores consolidó su aceptación, convirtiendo la teoría en un componente central de la biología evolutiva y celular (Margulis & Sagan, 2002).

## Evidencias morfológicas y bioquímicas

Las pruebas a favor de la teoría endosimbiótica se clasifican principalmente en tres líneas: morfológica, bioquímica y genética.

### Evidencias morfológicas

Mitocondrias y cloroplastos muestran división binaria, autonomía relativa y localización citoplasmática, características consistentes con su origen bacteriano (Alberts et al., 2015). Margulis (1998) señaló que “los organelos poseen un tamaño y forma típicos de bacterias” (p. 42), un hallazgo que se repite en diversos grupos eucariotas.

### Evidencias bioquímicas

Estos organelos poseen ribosomas 70S y sintetizan proteínas *in situ*, lo que refleja conservación de rutas bacterianas ancestrales (Castro-Muñozledo, 2022). Además, contienen ADN circular propio, lo que los distingue de los orgánulos derivados de invaginaciones de membrana. Lane

(2006) destaca que “la bioenergética de las mitocondrias es la clave para entender el tamaño y complejidad de las células eucariotas” (p. 112).

### Evidencias genéticas

La filogenia molecular demuestra que genes de mitocondrias se relacionan con  $\alpha$ -proteobacterias, mientras que los cloroplastos derivan de cianobacterias (Rivera & Lake, 2004). Margulis resumió que “los genes... de las mitocondrias todavía recuerdan sorprendentemente a los de las bacterias respiradoras” (1998, p. 43). Estas pruebas consolidan la hipótesis de que los organelos energéticos son descendientes de bacterias endosimbióticas.

### Endosimbiosis primaria, secundaria y casos especiales

La endosimbiosis primaria ocurre cuando una bacteria se integra por primera vez en un hospedador eucariota, dando origen a mitocondrias y plastos primarios. La endosimbiosis secundaria implica que un eucariota fotosintético es capturado por otro, generando plastos rodeados por múltiples membranas y la aparición de nucleomorfos (Alberts et al., 2015).

Un caso reciente y notable es *Paulinella chromatophora*, cuya adquisición de cianobacterias independientes ilustra una endosimbiosis primaria paralela a la clásica de los cloroplastos, proporcionando una ventana para estudiar la reducción genómica y la integración simbiótica en curso (Sagan, 2017).

### Transferencia génica endosimbiótica y reducción del genoma

Tras la incorporación simbiótica, ocurre transferencia génica endosimbiótica (TGE): genes del orgánulo se trasladan al núcleo del hospedador, quedando solo un genoma reducido en el organelo (Alberts et al., 2015; Margulis & Sagan, 2002). Este proceso explica la dependencia de las mitocondrias y cloroplastos de la célula para su biogénesis y funcionamiento.

Lane (2006) enfatiza que “sin la integración genética y bioenergética, la célula eucariota no habría alcanzado la complejidad que observamos” (p. 117). La TGE también muestra que la cooperación no es un evento único, sino un proceso continuo de coevolución y optimización metabólica.

## Implicaciones evolutivas, fisiológicas y médicas

La adquisición de mitocondrias permitió a las células eucariotas un aumento notable de energía disponible, favoreciendo el crecimiento celular, la diversidad de órganos y la evolución de multicelularidad (Alberts et al., 2015). En plantas y algas, la incorporación de plastos posibilitó la fotosíntesis eucariota y la colonización de diversos nichos ecológicos.

En biomedicina, la herencia materna de las mitocondrias explica ciertos patrones de transmisión de enfermedades y fundamenta terapias como el reemplazo mitocondrial (Castro-Muñozledo, 2022). En biotecnología, la comprensión de rutas de importación de proteínas hacia los organelos ha permitido avances en ingeniería genética y producción de compuestos bioactivos (Sagan, 2017).

## Debates actuales y perspectivas futuras

A pesar del consenso sobre mitocondrias y plastos, persisten debates sobre el origen de estructuras como cilios, flagelos y el núcleo. Margulis (1998) propuso una hipótesis simbiogenética para estos organelos, aunque evidencias modernas favorecen un origen endógeno de microtúbulos y cinetosomas (Alberts et al., 2015).

Otro debate involucra el origen del núcleo: modelos autógenos y simbióticos plantean escenarios distintos, pero la integración temprana con mitocondrias parece haber sido un factor clave en la reorganización del núcleo (Rivera & Lake, 2004). Estos debates resaltan que la teoría endosimbiótica es un programa de investigación en evolución, no un dogma cerrado.

## Conclusion

La teoría endosimbiótica constituye un pilar conceptual para entender la célula eucariota y la evolución de la complejidad biológica. Las evidencias morfológicas, bioquímicas y genéticas respaldan la derivación bacteriana de mitocondrias y cloroplastos; la transferencia génica endosimbiótica explica su integración nuclear; y los debates sobre otros organelos muestran que la investigación continúa activa.

Como señala Alberts et al. (2015), “el estudio de la biología celular moderna requiere considerar la endosimbiosis no solo como un hecho histórico, sino como un principio organizativo de la vida” (p. 231). Margulis (1998) lo resume con su característico énfasis en cooperación: “La vida avanza por colaboración, no únicamente por competencia” (p. 50). La teoría endosimbiótica, en suma, sigue siendo una narrativa fecunda que conecta evolución, fisiología y ecología.



## Bibliografía

- Alberts, B., Johnson, A., Lewis, J., Morgan, D., Raff, M., Roberts, K., & Walter, P. (2015). Biología molecular de la célula. Editorial Médica Panamericana.
- Castro-Muñozledo, F. (2022). Biología celular y su impacto en la comprensión de la vida. Fondo de Cultura Económica.
- Lane, N. (2006). Power, Sex, Suicide: Mitochondria and the Meaning of Life. Oxford University Press.
- Margulis, L. (1967). On the origin of mitosing cells. *Journal of Theoretical Biology*, 14(3), 225–274. [https://doi.org/10.1016/0022-5193\(67\)90079-3](https://doi.org/10.1016/0022-5193(67)90079-3)
- Margulis, L. (1998). Symbiotic Planet: A New Look at Evolution. Basic Books.
- Margulis, L., & Sagan, D. (2002). Acquiring Genomes: A Theory of the Origins of Species. Basic Books.
- Rivera, M. C., & Lake, J. A. (2004). The ring of life provides evidence for a genome fusion origin of eukaryotes. *Nature*, 431(7005), 152–155.  
<https://doi.org/10.1038/nature02848>
- Sagan, D. (2017). Microcosmos: Cuatro mil millones de años de evolución desde nuestros ancestros microbianos. Tusquets Editores.