



Organismos simbióticos: la complejidad de nuestra relación con la naturaleza

Symbiotic organisms: the complexity of our relationship with nature

Organismos simbióticos: a complexidade da nossa relação com a natureza

Antonino Michel Lecona Jiménez

Licenciatura en Ciencias Agrogenómicas

Institución: Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Unidad León

Dirección: Blv. UNAM #2011, Predio El Saucillo y, Comunidad de los Tepetates, El Potrero, 37684 León de los Aldama, Gto., México

E-mail: antonino.lecona@comunidad.unam.mx

Kalpana Nanjareddy

Doctorado en Biotecnología

Institución: Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Unidad León

Dirección: Blv. UNAM #2011, Predio El Saucillo y, Comunidad de los Tepetates, El Potrero, 37684 León de los Aldama, Gto., México

E-mail: kalpana@enes.unam.mx

Manojkumar Arthikala

Doctorado en Biotecnología

Institución: Escuela Nacional de Estudios Superiores, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) - Unidad León

Dirección: Blv. UNAM #2011, Predio El Saucillo y, Comunidad de los Tepetates, El Potrero, 37684 León de los Aldama, Gto., México

E-mail: manoj@enes.unam.mx

RESUMEN

Este artículo explora la importancia de las relaciones cooperativas en la naturaleza, destacando su papel en la supervivencia de los seres vivos y la resolución de desafíos ambientales. Desde hace más de 3,500 millones de años, las interacciones ecológicas han impulsado la evolución de especies, generando adaptaciones cruciales. La depredación impulsa estrategias defensivas en presas y caza eficiente en depredadores, mientras que el mutualismo promueve asociaciones simbióticas beneficiosas. Ejemplos incluyen la simbiosis entre cianobacterias y otros organismos, y la relación entre hongos y plantas. Estas asociaciones son fundamentales para la agricultura sostenible y ofrecen soluciones para desafíos globales como la seguridad alimentaria y el cambio climático. Cuando observamos la naturaleza, damos por hecho los eventos que



ahí ocurren, ignorando la realidad detrás de las interacciones que la conforman. En este artículo exponemos la importancia de las relaciones cooperativas en el desarrollo de estrategias que han permitido a los seres vivos sobrevivir a diferentes condiciones y en nuestro caso, a enfrentar problemas como la falta de alimento.

Palabras clave: simbiosis, agroecología, evolución.

ABSTRACT

This article explores the importance of cooperative relationships in nature, highlighting their role in the survival of living beings and the resolution of environmental challenges. For more than 3.5 billion years, ecological interactions have driven the evolution of species, generating crucial adaptations. Predation drives defensive strategies in prey and efficient hunting in predators, while mutualism promotes beneficial symbiotic associations. Examples include the symbiosis between cyanobacteria and other organisms, and the relationship between fungi and plants. These partnerships are fundamental to sustainable agriculture and offer solutions to global challenges such as food security and climate change. When we observe nature, we take for granted the events that occur there, ignoring the reality behind the interactions that make it up. In this article we expose the importance of cooperative relationships in the development of strategies that have allowed living beings to survive different conditions and in our case, to face problems such as lack of food.

Keywords: symbiosis, agroecology, evolution.

RESUMO

Este artigo explora a importância das relações cooperativas na natureza, destacando o seu papel na sobrevivência dos seres vivos e na resolução dos desafios ambientais. Durante mais de 3,5 mil milhões de anos, as interações ecológicas impulsionaram a evolução das espécies, gerando adaptações cruciais. A predação impulsiona estratégias defensivas nas presas e a caça eficiente nos predadores, enquanto o mutualismo promove associações simbióticas benéficas. Os exemplos incluem a simbiose entre cianobactérias e outros organismos e a relação entre fungos e plantas. Estas parcerias são fundamentais para uma agricultura sustentável e oferecem soluções para desafios globais como a segurança alimentar e as alterações climáticas. Quando observamos a natureza, damos como certos os acontecimentos que ali ocorrem, ignorando a realidade por trás das interações que a compõem. Neste artigo expomos a importância das relações de cooperação no desenvolvimento de estratégias que têm permitido aos seres vivos sobreviver a diversas condições e, no nosso caso, enfrentar problemas como a falta de alimentos.

Palavras-chave: simbiose, agroecologia, evolução.



1 INTERACCIONES ECOLÓGICAS, LA CLAVE DE LA EVOLUCIÓN

Desde hace más de 3,500 millones de años, cuando las primeras formas de vida colonizaron un planeta Tierra primitivo, las interacciones ecológicas, aquellas que se dan entre organismos y ambiente, han generado un vaivén de estrategias adaptativas de gran importancia en el proceso evolutivo de las especies. Como bien sabemos, la vida no es estática y es a partir de estas interacciones que los organismos han tenido la capacidad de transformar el ambiente en el que viven, desencadenando eventos evolutivos trascendentales para la ecología del planeta. Por ejemplo; las cianobacterias, gracias a su capacidad de llevar a cabo la fotosíntesis, transformaron nuestra atmósfera hace millones de años, enriqueciéndola con oxígeno y dando pie a un nuevo ambiente al cual la vida tenía que adaptarse. La aparición del metabolismo oxidativo cambió nuestro planeta para siempre; generando las condiciones necesarias para la aparición de sistemas vivos más complejos, como los organismos eucariotas y el surgimiento posterior de los ecosistemas terrestres.

Una de las interacciones ecológicas más relevantes es la depredación, donde un organismo se alimenta de otro. Esto puede impulsar la evolución de adaptaciones defensivas en las especies presas; por ejemplo, el camuflaje, la coloración como advertencia contra depredadores o las estructuras corporales como las espinas dorsales. En sentido contrario, la depredación también influye en la evolución de los depredadores; aquellos que desarrollen estrategias de caza más eficientes tendrán mayores posibilidades de alimentarse y de reproducirse. Esto puede conducir a la evolución de nichos especializados, en donde cada especie cuenta con un conjunto único de adaptaciones que le permiten aprovechar un recurso o hábitat de manera más efectiva.

Otra forma de interacción aparece cuando dos o más especies se relacionan de una manera que beneficia a ambas y es conocida como mutualismo, la cual tiene grandes implicaciones. Por ejemplo, algunas plantas dependen de los animales para polinizarse y, a cambio, los animales reciben recompensas nutritivas como el néctar. Esto impulsa la aparición de rasgos que



hacen que la interacción sea más efectiva, como flores de colores brillantes u órganos polinizadores más eficientes.

Si bien es aceptado de forma general por la comunidad científica, que la evolución de las especies se da gracias a la variación generada por mutaciones azarosas heredables y la posterior selección de los individuos mejor adaptados, en general, las interacciones ecológicas son un factor clave en el proceso evolutivo permitiendo la adaptación de los organismos a su entorno, dando forma a la diversidad de la vida en la Tierra.

Por ejemplo, hace mil quinientos millones de años, la aparición de las células con núcleo se dio gracias a la integración de varios organismos unicelulares de distintas especies, una *archaea* (organismo procariota) y diversas bacterias que dieron origen a las mitocondrias y posteriormente a los cloroplastos. A esta interacción entre organismos se le conoce como endosimbiosis, un tipo de relación mutualista en la cual dos o más organismos se asocian de manera tan dependiente, que pueden llegar a considerarse en algún momento un solo organismo.

2¿QUÉ ES LA SIMBIOSIS?

La simbiosis se da cuando dos o más organismos viven estrechamente obteniendo beneficios mutuos, influyendo de manera tan significativa uno en el otro que pueden determinar, en muchos casos, su forma de vida. Algunas veces permiten a los organismos obtener o intercambiar nutrientes de difícil acceso o ampliar su distribución a regiones aparentemente inhabitables, tal es el caso de los gusanos *Riftia pachypitila*, (de Oliveira y cols., 2022), que habitan en las fuentes hidrotermales submarinas a más de 2,500 metros de profundidad gracias a la simbiosis establecida con bacterias de la especie *Endoriftia persephone*, que pueden transformar el ácido sulfhídrico del ambiente en moléculas que los gusanos pueden utilizar para obtener energía.

Existen diferentes tipos de relaciones simbióticas en la naturaleza y diferentes niveles de dependencia entre organismos, por ejemplo; en el interior



de la cochinilla harinosa, habitan simbioses bacterianas, del grupo de las beta-protobacterias, conocidos como *Tremblaya princeps*, que le ayudan a obtener nutrientes esenciales al insecto, al mismo tiempo esta bacteria hospeda en su interior a otra del grupo de las gamma-proteobacterias, que le ayuda a obtener ciertos aminoácidos esenciales; este sistema simbiótico nos permite apreciar la complejidad de las relaciones ecológicas que pueden establecerse en la naturaleza.

3 CIANOBACTERIAS Y SIMBIOSIS

Las cianobacterias son un tipo de bacterias que son conocidas por su capacidad para llevar a cabo la fotosíntesis. Este proceso esencial para su supervivencia les permite utilizar la luz solar para convertir el dióxido de carbono en compuestos orgánicos. Uno de los aspectos fascinantes de las cianobacterias es su capacidad para formar relaciones simbióticas con otros organismos, incluidos hongos, protistas, plantas y animales. Un ejemplo bien conocido de cianobacterias que forman una relación simbiótica lo podemos observar en los líquenes. Los líquenes son organismos compuestos que consisten en un hongo y un socio fotosintético, a menudo una cianobacteria o un alga. En esta relación, la cianobacteria proporciona al hongo productos fotosintéticos y nitrógeno, que son esenciales para su crecimiento, y el hongo proporciona a la cianobacteria protección contra las duras condiciones ambientales (Grube y Wedin, 2016). Otro ejemplo de cianobacterias simbioses, podemos encontrarlo en los arrecifes de coral. Los arrecifes están formados por colonias de pequeños animales llamados pólipos de coral, que tienen una relación simbiótica con algas fotosintéticas llamadas zooxantelas, muchas de las cuales son cianobacterias. Las zooxantelas proporcionan alimento a los pólipos de coral a través de la fotosíntesis, mientras que estos les proporcionan un ambiente protegido y otros nutrientes. Esta relación simbiótica es crucial para la supervivencia de los arrecifes de coral, que dependen directamente de los productos fotosintéticos proporcionados por las zooxantelas para su crecimiento.



En el caso de la relación entre cianobacterias y plantas, un grupo de plantas llamadas cícadas, formaron estructuras especializadas llamadas raíces coraloides, en donde establecieron relaciones simbióticas con cianobacterias fijadoras de nitrógeno, proporcionando a la planta nutrientes nitrogenados esenciales para su crecimiento, mientras que la planta proporciona a las cianobacterias un ambiente seguro y varios nutrientes. En general, la capacidad de las cianobacterias para formar relaciones simbióticas con otros organismos es un aspecto importante a nivel ecológico y evolutivo.

4 SIMBIOSIS ENTRE HONGOS Y PLANTAS

Uno de los casos que mayor interés ha generado en los científicos es la relación que establecieron las plantas con un tipo de hongos llamados micorrizas que habitan el suelo y tienen contacto con las raíces de las plantas (Kamel y cols., 2017), comenzando un intercambio de mensajes químicos que desencadenan reacciones fisiológicas en ambos simbioses y que promueven el establecimiento de la simbiosis, llegando a penetrar en la raíz e incluso en el espacio dentro de las células, proporcionando nutrientes y mejorando la resistencia de las plantas a diferentes variables ambientales.

Actualmente, existen grupos de científicos encargados de estudiar a diferentes niveles la relación entre plantas y micorrizas, su trabajo nos ha permitido poner al descubierto la complejidad de la comunicación molecular existente entre ambos organismos y cómo es que influyen uno en el otro. Sin embargo, aún es necesario profundizar mucho más en el entendimiento de esta relación simbiótica y en cómo funciona la red de interacciones bajo el suelo.

5 SIMBIOSIS Y SOCIEDAD

Como se ha mencionado, la simbiosis se refiere a la interacción entre dos organismos diferentes que viven en estrecha asociación, donde ambos organismos se benefician de la misma. Nosotros, como especie, también hemos



establecido relaciones simbióticas fundamentales con gran variedad de microorganismos, por ejemplo, el intestino humano es el hogar de millones de ellos, incluidas bacterias, hongos y virus, que nos ayudan en el proceso de digestión, la absorción de nutrientes y el desarrollo de nuestro sistema inmunológico. El ser humano ha aprovechado también de manera indirecta los productos de este tipo de relaciones, llegando a ser de gran importancia para la sociedad de distintas maneras, muchos medicamentos se obtienen a partir de la recolección de productos derivados de relaciones simbióticas entre diferentes organismos. Por ejemplo, la penicilina, uno de los antibióticos que ha ayudado a salvar millones de vidas desde su descubrimiento, es producido por un hongo que tiene una relación simbiótica con una bacteria.

El caso de la agricultura no es la excepción ya que la mayoría de las plantas se benefician de relaciones simbióticas con hongos y bacterias para absorber nutrientes del suelo, mejorando la productividad de los cultivos. Por ejemplo, las leguminosas como los chícharos, los frijoles y la soya, forman relaciones simbióticas con bacterias fijadoras de nitrógeno llamadas rizobios que les proporcionan el nitrógeno necesario para su crecimiento. La simbiosis con este tipo de bacterias es un proceso esencial tanto para la planta como para el medio ambiente; fue a partir de estos procesos coevolutivos, que se establecieron relaciones muy específicas y aparecieron múltiples especies de rizobios simbiotes de leguminosas. El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y desarrollo de las plantas y el resto de los organismos, pero se encuentra en una forma poco aprovechable en la mayoría de los suelos, las bacterias permiten a las plantas fijar el nitrógeno atmosférico en una forma que pueda ser utilizado. Este proceso no sólo proporciona a la planta una fuente crítica de nutrientes, sino que también beneficia al ecosistema circundante. Además, esta relación ayuda a reducir la necesidad de fertilizantes químicos, que pueden ser dañinos para el medio ambiente, al mismo tiempo que favorece el crecimiento de otras especies vegetales, lo que puede aumentar la biodiversidad y ayudar a mantener el equilibrio de los ecosistemas.



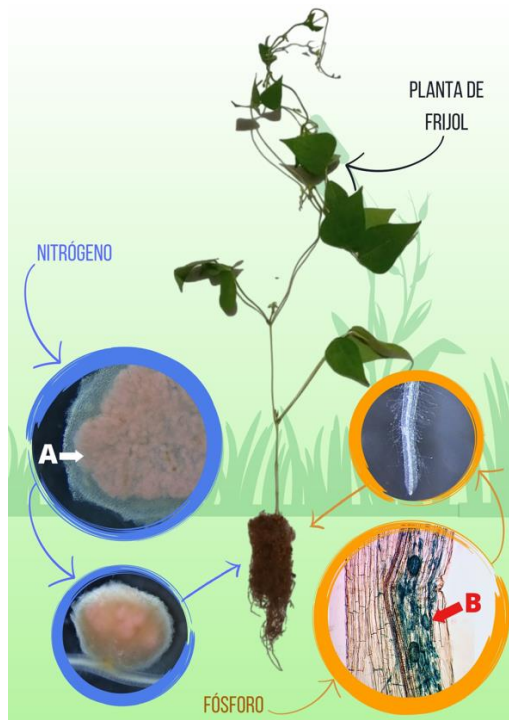
Desde la *Revolución Verde*, la agricultura se industrializó centrándose en la sobreproducción, utilizando grandes extensiones de monocultivos y promoviendo la aplicación de fertilizantes sintéticos y pesticidas, sin embargo, esta metodología, como lo podemos experimentar hoy en día, no resultó sostenible. La contaminación generada por el uso excesivo de agroquímicos y el desgaste de los suelos ha derivado en una grave crisis ambiental resultando muy complejo el mantener un equilibrio entre producción y el cuidado del medio ambiente. Sin embargo, la necesidad de brindar seguridad alimentaria a ocho mil millones de personas nos obliga a buscar alternativas viables que permitan generar la cantidad de alimento suficiente de manera sustentable.

Para poder lograrlo, científicos y productores exploran medios de producción que permitan obtener el máximo rendimiento de los cultivos con el menor daño ambiental posible, en ese sentido, el aprovechamiento de los beneficios que ofrecen las relaciones simbióticas entre plantas y microorganismos es una alternativa viable para lograrlo. La optimización de la simbiosis entre plantas y bacterias fijadoras de nitrógeno es de gran importancia; al incrementar la disponibilidad de nitrógeno aprovechable en el suelo de manera natural disminuirá la necesidad de producir y aplicar fertilizantes nitrogenados, mismos que se consideran una de las mayores fuentes de contaminación del agua.

Además, el incremento de la temperatura global debido al cambio climático exige mayor resistencia de los cultivos al calor y la sequía, por lo que el promover el establecimiento de relaciones simbióticas que den a las plantas la capacidad de tolerar condiciones ambientales más extremas incrementará la eficiencia de los agroecosistemas, siendo definitivamente una de las mejores opciones con las que contamos para afrontar estos problemas.



Figura 1. Las plantas dependen de su relación con microorganismos para poder obtener nutrientes como el nitrógeno y el fósforo. A) En el interior de estructuras especializadas en las raíces de las leguminosas se forma la simbiosis entre planta y rizobios, los cuales fijan nitrógeno. B) Los hongos micorrícicos penetran las raíces de las plantas otorgándoles nutrientes como el fósforo.



Recurso: Elaborado por los propios autores.

6 CONCLUSIÓN

La visión reduccionista que muchas veces nos invade al observar la naturaleza no nos permite apreciar todo lo que está pasando ahí, los seres vivos no están aislados, viven y establecen relaciones entre múltiples organismos que cohabitan dentro o en contacto unos con otros, permitiendo que muchos de los hechos que damos como cotidianos puedan llevarse a cabo. A partir del siglo XX, gracias al trabajo de grandes científicos, hemos experimentado una transformación cultural que ha difuminado de nuestra mente la idea de ver a los microorganismos únicamente como patógenos causantes de pestes, ahora comenzamos a ser conscientes de que forman parte esencial de nuestra realidad biológica y de la compleja red de interacciones cooperativas que conforman el ecosistema al que pertenecemos. Las ventajas que podemos obtener al profundizar en el conocimiento de la simbiosis son evidentes, de manera directa



o indirecta dependemos de múltiples organismos para sobrevivir y aprovechar de manera eficiente muchos de los recursos que necesitamos. El enriquecimiento de los suelos agrícolas a partir de la inoculación de microorganismos como las micorrizas y las bacterias fijadoras de nitrógeno abre la puerta a una producción más sustentable y amigable con el ambiente que nos permita fortalecer la seguridad alimentaria global. Debemos reconocer, que la dimensión de la influencia que las relaciones simbióticas tienen en la evolución de las especies y en nuestra vida diaria apenas se está descubriendo y falta mucho por conocer.

AGRADECIMIENTOS

Estamos agradecidos con el laboratorio certificado SGC-LII (ISO 9001: 2015), ENES-Unidad León, por proporcionar las instalaciones durante este trabajo. Financiamiento Este trabajo fue apoyado por la Dirección General de Asuntos del Personal Académico, DGAPA/PAPIIT-UNAM con los proyectos no. IN217724 a K.N. y IN208424 a M.-K.A.



REFERENCIAS

De Oliveira, A. L., Mitchell, J., Girguis, P., y Bright, M. (2022), "Novel Insights on Obligate Symbiont Lifestyle and Adaptation to Chemosynthetic Environment as Revealed by the Giant Tubeworm Genome", ***Molecular biology and evolution***, **39** (1), 347.

Grube, M. y Wedin, M. (2016), "Lichenized Fungi and the Evolution of Symbiotic Organization", ***Microbiology spectrum*** 4(6).

Kamel, L., Keller-Pearson, M., Roux, C., y Ané, J. M. (2017)," Biology and evolution of arbuscular mycorrhizal symbiosis in the light of genomics" ***The New phytologist***, **213**(2), 531–536. <https://doi.org/10.1111/nph.14263>