



Los hongos al rescate del planeta: ¿Un nuevo aliado en contra de la contaminación de residuos plásticos en el medio ambiente?



Adriana Guadalupe Orozco García. Departamento de Farmacobiología Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. adriana.orozco6940@alumnos.udg.mx ORCID: [0000-0002-3072-0987](https://orcid.org/0000-0002-3072-0987). SCOPUS: [230936332000](https://scopus.org/230936332000). Estudiante activo del Doctorado en Ciencias en Microbiología y la Biotecnología Molecular de la Universidad de Guadalajara del Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías



Josue Raymundo Solís Pacheco. Departamento de Farmacobiología Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. raymundo.solis@academicos.udg.mx, ORCID: 0000-0002-6507-0638. Profesor Investigador Titular C.



Edgar Balcázar López. Departamento de Farmacobiología Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías. edkaizerbal@gmail.com ORCID: [0000-0001-5629-2864](https://orcid.org/0000-0001-5629-2864) SCOPUS: [230936332000](https://scopus.org/230936332000). Profesor Investigador Asociado C.

Reflexión rápida

¿Deberíamos reducir o dejar de usar plástico para mejorar el medio ambiente? O ¿Deberíamos confiar en la capacidad natural de los microorganismos para descomponer los residuos plásticos presentes en el medio ambiente?

Curso de 2 minutos

La degradación es un proceso natural o inducido por el cual un material se descompone o se rompe en componentes más simples. En el caso de materiales sintéticos como plásticos, la degradación puede referirse a su descomposición por la exposición de factores ambientales como la luz solar, el calor, el oxígeno o humedad. La degradación con microorganismo se refiere al proceso de bacterias y hongos para descomponer materiales orgánicos e inorgánicos en el medio ambiente. Estos microorganismos utilizan enzimas para descomponer moléculas complejas en componentes más simples.

La biorremediación es un proceso natural o tecnológico que utiliza organismos vivos, como bacterias, hongos, plantas o enzimas, para degradar contaminantes ambientales o convertirlos en formas menos tóxicas. Este método se emplea para limpiar, suelos, aguas subterráneas, sedimentos, reducción de plástico en el medio ambiente, entre otros entornos contaminados, con el objetivo de restaurar o mejorar la calidad ambiental. La biorremediación puede ser una alternativa efectiva y sostenible a métodos más tradicionales de limpieza ambiental, ya que aprovecha los mecanismos naturales de los organismos para eliminar o reducir contaminación.

Resumen

Los hongos están emergiendo como un nuevo aliado para reducir la contaminación por residuos plásticos. Estos organismos producen enzimas que pueden descomponer los plásticos en fragmentos más pequeños y usarlos para su desarrollo. El uso de hongos ofrece una solución sostenible, ecológica para la gestión de residuos plásticos, reduciendo su impacto ambiental. Los avances biotecnológicos tienen potencial para transformar significativamente los métodos de tratamiento de residuos y protección al medio ambiente.

Palabras Clave

Hongo, Plástico, Degradación, Biodegradación

Cite este artículo así:

APA: Orozco-García, A.* Solís-Pacheco, R. Balcázar-López. (2024). Los hongos al rescate del planeta: ¿Un nuevo aliado en contra de la contaminación de residuos plásticos en el medio ambiente? *Quimiofilia*, 2022, 3,(2), 13-16

MDPI y JACS: Orozco-García, A.*; Solís-Pacheco, R.; Balcázar-López... *Quimiofilia*, 2024, 3, 2, 13-16

DOI: <https://doi.org/10.56604/qfla2024321316>

Recibido: 13 de mayo 2024. **Aceptado:** 24 de julio 2024. **Publicado.** 25 de noviembre de 2024.

www.quimiofilia.com. ISSN: 2683-2364. Registro IMPI: 2052060 QUIMIOFILIA. Reserva de derechos al uso exclusivo 2022: 04-2019-062013201300-203



Introducción

El plástico se ha vuelto esencial para la vida cotidiana y la industria textil, de alimentos, automotriz, entre otras. Además, de ser uno de los materiales más utilizados y persistentes en la tierra, ya que tarda varios años en degradarse. Lo cual ha ocasionado montañas de plástico en vertederos y que a su vez han logrado contaminar los océanos; ocasionando una crisis ambiental a nivel mundial. Ahora bien, imagina que estos se pueden descomponer de manera natural, dejando un impacto mínimo en el medio ambiente. Este escenario es posible gracias al uso de unos diminutos pero poderosos microorganismos, denominados hongos. Recientes investigaciones han descubierto ciertos tipos de hongos, los cuales tienen la capacidad de descomponer el plástico de manera eficiente y ecológica. Estos organismos no solo pueden degradar plástico, si no que lo hacen transformándolo en sustancias más simples; ofreciendo así una esperanza tangible en la batalla contra la contaminación por plástico. En este artículo, exploraremos cómo los hongos están revolucionando el tratamiento de residuos plásticos, los mecanismos detrás de su capacidad degradativa y las implicaciones de estos avances para el futuro del medio ambiente. Con esta lectura te invitamos a descubrir cómo estos modestos organismos podrían ser la clave para un planeta más limpio.

Plástico en el mundo

El plástico es una de las materias primas más versátiles, por su capacidad para ser moldeado de diversas formas, su durabilidad y su bajo costo de producción, debido a lo anterior se ha vuelto en una materia prima indispensable para la industria; ya que tienen uso en diferentes áreas (en la industria médica, jabón, alimentos, automotriz, construcción, embalaje, juguetes, dispositivos electrónicos, entre otros). Sin embargo, esta omnipresencia tiene un costo ambiental significativo.

Tan solo en el año 2019 la producción mundial de plástico fue de 460 millones de toneladas métricas obteniendo así el 3.4 % de las emisiones de gases de efecto invernadero. Sin la implementación de políticas audaces y efectivas, se estima que los desechos plásticos aumentarán a más de 1000 millones de toneladas métricas a nivel mundial para el año 2060, superando así la producción de la mayoría de las demás materias primas. Convirtiéndose en un problema mundial.¹

Ahora bien, el 40 % de los desechos plásticos terminan en vertederos y solo el 14 % de ellos se recicla (la tasa de reciclaje es diferente entre cada país).² En consecuencia, los desechos plásticos

en el medio ambiente pueden cambiar los hábitats e interferir con los procesos naturales, disminuyendo la capacidad de los ecosistemas para adaptarse al cambio climático, afectando, además, la producción de alimentos.¹

El tereftalato de polietileno conocido como PET es un termoplástico, el cual, ha obtenido una gran popularidad en la industria debido a sus propiedades como transparencia, brillo, resistencia, ligereza (en comparación con el vidrio), ayuda a mantener la calidad de las bebidas y alimentos. Principalmente se utiliza para la fabricación de botellas, envases de alimentos, fibras textiles, fabricación de piezas o componentes industriales debido a su resistencia y durabilidad.

Tan solo en Europa el PET constituye un tercio de la demanda total de plásticos, debido a su amplio uso en el sector de ensamblaje. Además, es el plástico que se reconoce con mayor producción a nivel mundial, se estima que la demanda global pudiera ser de aproximadamente 56 millones de toneladas en el año 2024.³

Ahora bien, el manejo y reducción de los residuos plásticos se ha convertido en un desafío global que requiere atención urgente y soluciones innovadoras.

¿Qué se hace actualmente con los residuos plásticos?

La gestión de residuos plásticos es un desafío a nivel mundial que requiere un esfuerzo conjunto de gobiernos, industrias y ciudadanos. Algunas de las estrategias que se reportan para reducir o eliminar estos residuos consisten en fomentar el reciclaje, reutilización, programas de retorno, programas de depósito de plástico, incineración, reciclaje químico, reciclaje mecánico, uso de biorremediación, entre otros.

El reciclaje mecánico es el proceso más comúnmente utilizado para reciclar plásticos. Este método consiste en recolectar, clasificar, limpiar y triturar los plásticos. El reciclaje mecánico es eficaz y relativamente económico, pero presenta algunas limitaciones; por ejemplo, no todos los plásticos son reciclables mediante este método y la calidad del material reciclado puede disminuir con cada ciclo de reciclaje, limitando su reutilización.⁴

El reciclaje químico es una tecnología emergente. Este método ofrece una solución más avanzada para la gestión de residuos plásticos; debido a que desnaturaliza los plásticos en compuestos más sencillos, permiten la reutilización de estos durante la formulación de nuevos plásticos de alta calidad.⁴ Sin embargo, presenta varias desventajas; requiere más energía y es más costoso que el reciclaje mecánico, algunos métodos de reciclaje químico generan emisiones y residuos tóxicos en el medio ambiente que deben ser

1. Zhang, C.; Nakatani, J. Implications of chemical recycling of plastic waste for climate change impacts: A critical review. *Sustainable Production And Consumption*. 2024 <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.05.016>

2. Van Melkebeke, M.; De Somer, T.; Van Laere, T.; Minh, T.; Shirazi, H.; Poelman, H.; Van Geem, K.; De Meester, S.. Adsorption modeling for contaminant removal in plastic dissolution recycling: Investigating an amino ketone-based red dye. *Separation And Purification Technology*, 2024, 331, 125559. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2023.125559>

3. Ibrahim, S.; Ionescu, D.; Grossart, H. Tapping into fungal potential: Biodegradation of plastic and rubber by potent Fungi. *Science Of The Total Environment*, 2024, 934, 173188. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.173188>

4. Hao, G.; He, M.; Lim, S.; Ong, G.; Zulkati, A.; Kapilan, S. Recycling of plastic waste in porous asphalt pavement: Engineering, environmental, and economic implications. *Journal Of Cleaner Production*, 2024, 440, 140865. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.140865>



gestionados. Además, la complejidad y especificidad de las condiciones necesarias para estos procesos pueden dificultar su optimización a gran escala. Sumando a lo anterior, los subproductos deben cumplir con los estándares de calidad de cada país para ser aceptados en el mercado, lo que puede ser un desafío adicional en el uso de este método.

Una de las propuestas como solución para contrarrestar la creciente crisis de contaminación por plásticos es la biorremediación basada en microorganismos. Este método aprovecha la capacidad natural de los microorganismos para descomponer y metabolizar los plásticos. Los microorganismos utilizan sus enzimas para descomponer el plástico en componentes más simples que pueden ser absorbidos como nutrientes, ofreciendo así una vía prometedora para reducir la presencia de estos en el medio ambiente. Esta alternativa sostenible pudiera ayudar a mitigar los impactos ambientales negativos asociados a la acumulación de plástico en nuestro ecosistema.

Los hongos como agentes de degradación de plástico

A pesar de la acumulación de residuos plásticos en nuestro ecosistema, la naturaleza tiene sus propios métodos para descomponer este tipo de material. Los hongos son reconocidos por su capacidad para descomponer materia orgánica compleja, además, están siendo estudiados por diferentes grupos científicos por su potencial significativo para la degradación de plástico, ofreciendo una solución sostenible.

Para degradar el plástico se ha observado que los hongos producen enzimas que rompen la estructura química del plástico en fragmentos más pequeños, que luego pueden ser usados por el mismo hongo para poder vivir o producir otros subproductos en su sistema, pudiendo así reducir o eliminar los residuos tóxicos en el medio ambiente.⁵

Entre las especies fúngicas que se destacan por producir enzimas para degradar diversos tipos de plásticos son; *Rhizopus*, *Humicola*, *Aspergillus*, *Phaenarochete sp.*, *Trichoderma*, *Penicillium*, *Alternaria*, *Fusarium*, *Mucor*, entre otras.⁶

En condiciones de laboratorio, el hongo *Fusarium solani pisi* en cuatro días, redujo el peso de la película de PET en un 97%. El hongo *Rhizopus delemer* en 24 h logró degradar el 53 % de una película de poliuretano de tipo poliéster.⁷ Después de 112 días de incubación *Aspergillus oryzae* cepa A5 degradó un 36.4 % de

polietileno de baja densidad. *Aspergillus niger* y *Aspergillus flavus*, degradaron 26.17% y 16.45% (respectivamente) de PET después de 6 meses y *Zalerion maritimum* degradó hasta un 56.7%. *Aspergillus nidulans* y *Penicillium chrysogenum* se inocularon en PET pretratado térmicamente durante 6 semanas, degradando 2 % y 1 % respectivamente. En cambio, *Penicillium simplicissimum* y *Fusarium sp.* incubados durante 6 semanas en PET sin tratamiento térmico previo, provocaron una pérdida de peso de 7.7% y 0.7% (respectivamente).⁸ Estos reportes de investigaciones resaltan el potencial de los hongos para degradar plástico, ofreciendo nuevas tendencias y búsqueda de soluciones para reducir el plástico del medio ambiente.

Este proceso de degradación en hongos, aunque es complejo, consiste en varios pasos. Primero se necesita la unión del hongo con la superficie del plástico; para ello los hongos producen estructuras llamadas hifas (filamentos largos y delgados que les permite anclarse en la superficie del plástico). Estas hifas también secretan sustancias que ayudan a descomponer la superficie del material, facilitando la unión del hongo con el plástico. También en la superficie de los hongos filamentosos, se sintetizan y liberan proteínas activas llamadas hidrofobinas que ayudan en la unión entre el hongo y el plástico.⁹

Una vez que se encuentra en unión el hongo con el plástico; el hongo comienza a producir enzimas (lacasas, peroxidasas, esterasas, poliuretano hidrolasas) específicas que pueden romper la estructura del plástico.¹⁰ Este proceso, permite convertir la estructura del plástico en estructuras más pequeñas y manejables para el hongo. Una vez obtenidas estas pequeñas estructuras el hongo los metaboliza utilizándolas como fuente de carbono, energía para su crecimiento y su reproducción. Este proceso de metabolización produce subproductos inofensivos como dióxido de carbono, agua y biomasa fúngica.¹¹

Los hongos que rompen la estructura del plástico pueden ayudar a disminuir los residuos plásticos en vertederos, océanos, entre otros ecosistemas naturales. Esto no solo mejora la estética del entorno, sino también reduce el impacto negativo en la vida silvestre, debido a la ingestión o enredo en plásticos. Además, la degradación biológica de plásticos puede ser un proceso más neutro en carbono si se gestiona adecuadamente. Esto no solo reduce residuos; los subproductos de la degradación fúngica, como la biomasa fúngica pueden ser utilizados en la producción de

5. Černoša, A.; Cortizas, A.; Traoré, M.; Podlogar, M.; Danevčič, T.; Gunde-Cimerman, N.; Gostinčar, C. A screening method for plastic-degrading fungi. *Heliyon*, **2024**, *10*, 10, e31130. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e31130>

6. Sarsan, S.; Kodaparthi, A.; Birru, S. (2024). Microbial enzymes in plastic degradation. En Elsevier eBooks (pp. 207-242). <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-13932-1.00005-2>

7. Srikanth, M.; Sandeep, T.; Sucharitha, K.; Godi, S. Biodegradation of plastic polymers by fungi: a brief review. *Bioresources And Bioprocessing*, **2022**, *9*, 1. <https://doi.org/10.1186/s40643-022-00532-4>

8. Sridhar, S.; Murugesan, N.; Gopalakrishnan, M.; Janjoren, D.; Ganesan, S. Removal of microplastic for a sustainable strategy by microbial biodegradation. *Sustainable Chemistry For The Environment*, **2024**, *6*, 100088. <https://doi.org/10.1016/j.scenv.2024.100088>

9. Porter, R.; Černoša, A.; Fernández-Sanmartín, P.; Cortizas, A.; Aranda, E.; Luo, Y.; Zalar, P.; Podlogar, M.; Gunde-Cimerman, N.; Gostinčar, C. Degradation of polypropylene by fungi *Coniochaeta hoffmannii* and *Pleurostoma richardsiae*. *Microbiological Research*, **2023**, *277*, 127507. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2023.127507>

10. Bautista-Zamudio, P.; Flórez-Restrepo, M.; López-Legarda, X.; Monroy-Giraldo, L.; Segura-Sánchez, F.. Biodegradation of plastics by white-rot fungi: A review. *Science of the Total Environment*, **2023**, *901*, 165950. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.165950>

11. Samat, A.; Carter, D.; Abbas, A. Biodeterioration of pre-treated polypropylene by *Aspergillus terreus* and *Engyodontium album*. *npj Mater Degrad*, **2023**, *7*, 28. <https://doi.org/10.1038/s41529-023-00342-9>



biocombustible, bioplásticos, fertilizantes, entre otros productos de valor añadido. Al encontrar formas sostenibles de manejar y reciclar plásticos existentes, se reduce la necesidad de producir nuevos plásticos a partir de combustibles fósiles, contribuyendo así a la conservación de recursos naturales.

Mejora genética en hongos para una mayor degradación de plástico

Para mejorar la capacidad natural de los hongos para degradar plástico, se han reportado varias técnicas para mejorar la genética de estos y lograr una mayor reducción de plástico. Para ello es esencial identificar y seleccionar cepas de hongos, los cuales se obtienen de entornos contaminados, se llevan al laboratorio para cultivar en condiciones controladas (Se ajusta el pH del medio de cultivo, disponibilidad de nutrientes del medio de cultivo y la temperatura durante el periodo de incubación) para optimizar su actividad de degradación de plástico.

Para mejorar aún más la capacidad de degradación, se emplea la mutagénesis (se inducen cambios genéticos mediante radiación o productos químicos). Estas mutaciones pueden generar cepas con una mayor actividad para degradar plástico.

Ahora bien, el análisis del transcriptoma de los hongos en ciertas condiciones de crecimiento o degradación de plástico permite identificar los genes involucrados en la degradación de plástico. Para ello, se extrae el ARN (ácido ribonucleico) de los hongos (en condiciones de degradación de plástico), proporcionando una visión detallada de los genes expresados durante el proceso.¹² Este conocimiento es crucial para comprender cómo los hongos responden a la presencia de plástico como única fuente de carbono e identificar cuáles son los genes que se activan para la producción de enzimas que rompen los enlaces de la estructura del plástico.

Una vez que se conocen los genes que actúan para degradar plástico; estos genes mediante la ingeniería genética se pueden sobreexpresar. Este proceso aumenta la producción de enzimas

específicas que degradan los plásticos, mejorando significativamente la eficiencia del hongo. También se puede usar la ingeniería genética para explorar enfoques de interacción; como el co-cultivo de hongo con alguna bacteria (deterioradora de plástico). Esta combinación pudiera incrementar el proceso de degradación, maximizando así la eficiencia de degradación de plástico de ambos microorganismos.

Por ejemplo: el uso de una mutante termoestable para el tratamiento de películas de PET semicristalino (23 %) mostró una despolimerización 300 veces más en 10 días. Con otra mutante sometida a incubación a 40°C se demostró una despolimerización 14 veces más.¹³

La ingeniería de proteínas y la evolución dirigida, se utiliza para mejorar las enzimas degradadoras producidas por hongos. Estas técnicas permiten aumentar la estabilidad y actividad enzimática en condiciones industriales, lo que es crucial para aplicaciones a gran escala.

La mejora genética de los hongos representa una herramienta eficaz contra la contaminación por plástico. Mediante la selección de cepas específicas, la mutagénesis, el análisis transcriptómico y la ingeniería genética, es posible aumentar las capacidades naturales de los microorganismos para descomponer el plástico de manera más eficiente.

Conclusión

Recientes estudios sugieren la relevancia del estudio y aplicación de los hongos en la descomposición del plástico mediante un proceso complejo que incluye la colonización de la superficie del plástico, la producción enzimática para fragmentar el plástico en compuestos más sencillos de metabolizar por el hongo. Esta capacidad única de los hongos ofrece una solución prometedora y sostenible para el problema de la contaminación plástica y con la continua investigación y desarrollo, podría convertirse en una herramienta clave para la reducción de residuos y protección del ecosistema.

12. Raghavan, V.; Kraft, L.; Mesny, F.; Rigerte, L. A simple guide to de novo transcriptome assembly and annotation. *Briefings in Bioinformatics*, **2022**, 23, 2. <https://doi.org/10.1093/bib/bbab563>

13. Graf, L.; Michels, E.; Yew, Y.; Liu, W.; Palm, G.; Weber, G. Structural analysis of PET-degrading enzymes PETase and MHETase from *Ideonella sakaiensis*. *Enzymatic Plastic Degradation*, **2021**, 337–356. doi:10.1016/bs.mie.2020.12.01