

## Microorganismos degradadores de plástico.

*¿Por qué hay tanto plástico en la naturaleza, pero los árboles y animales muertos desaparecen?*



**Eva C. Sonnenschein**

## Enzimas degradadoras de plástico.

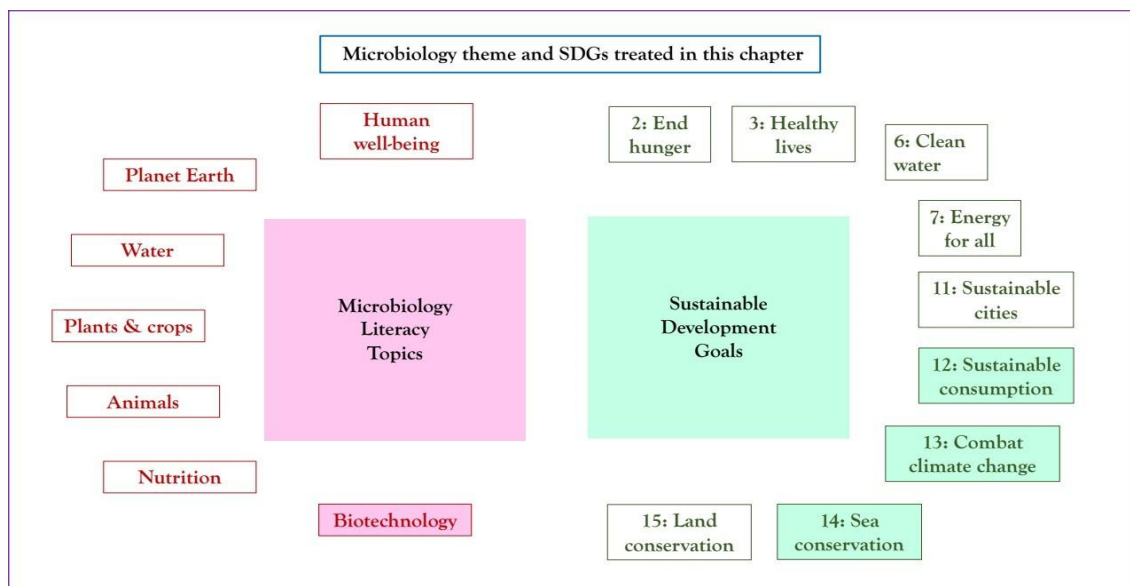
### Trama

Hoy en día, el plástico —un grupo de materiales sintéticos compuestos por diferentes tipos de polímeros orgánicos, en su mayoría inertes— está presente en todas partes de la naturaleza y puede ser potencialmente dañino para la vida silvestre y para nosotros, los humanos. Sin embargo, muchos polímeros naturales, como la celulosa (de las plantas) o la quitina (de los hongos y crustáceos), pueden ser degradados por microorganismos. Algunos microbios secretan enzimas especializadas para descomponer estas moléculas y alimentarse de ellas, de la misma manera que nosotros digerimos nuestros alimentos. Muchas enzimas microbianas se utilizan en productos cotidianos (como detergentes para la ropa) o en aplicaciones industriales y médicas. Entonces, ¿por qué los microorganismos no descomponen el plástico en la naturaleza? ¿O lo hacen? En realidad, algunos microorganismos degradadores de plástico han sido aislados y caracterizados en el laboratorio. Así, las bacterias han evolucionado para utilizar este material novedoso como alimento, lo que da esperanza a la posibilidad de que podamos aprovechar sus enzimas para reutilizar los desechos plásticos y crear una solución sostenible para el problema del plástico. Sin embargo, actualmente, los microorganismos y sus enzimas no son lo suficientemente eficientes como para reducir los desechos plásticos en el medio ambiente. Si ese fuera el caso, también podría causar problemas, ya que nosotros, los humanos, dependemos mucho de la durabilidad del plástico. Así, los microorganismos representan un gran reservorio natural para soluciones biotecnológicas que podrían apoyar los Objetivos de Desarrollo Sostenible, pero al igual que con cualquier invención nueva, el efecto en todas las partes interesadas debe ser cuidadosamente evaluado.

### La microbiología y el contexto social.

*Microbiología:* biodescubrimiento de nuevas bioactividades; biodegradación; biorremediación; biotecnología; productos sostenibles; degradación de polímeros; microbioma del plástico.

*Social:* ambientes saludables; vidas saludables; gestión de residuos; tratamiento de aguas residuales; economía circular.

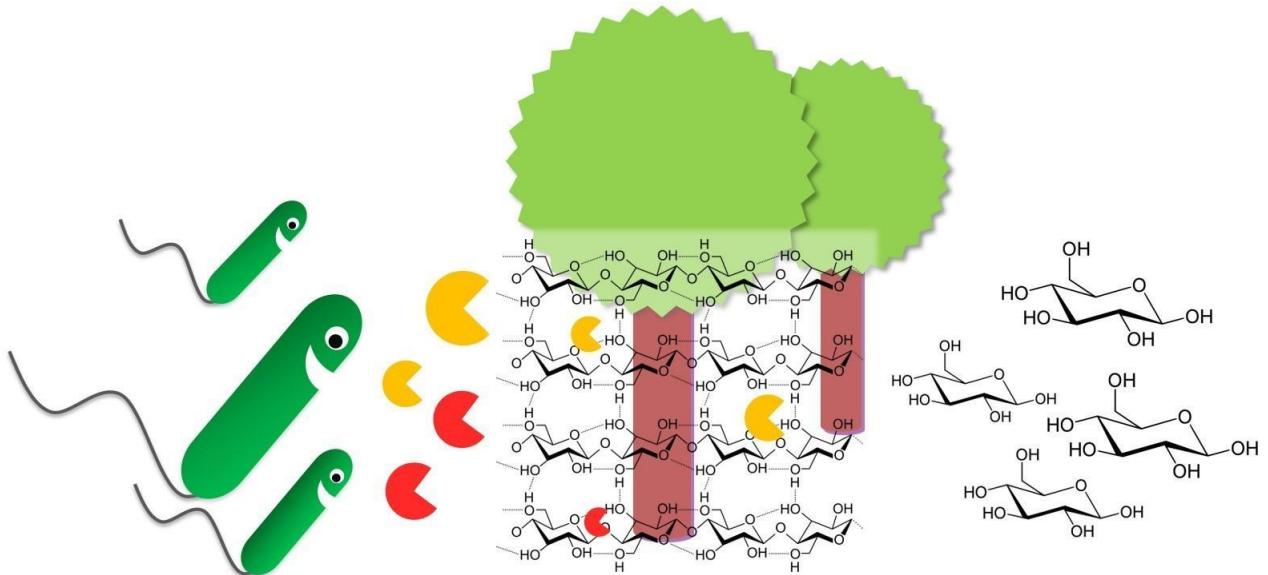


### Enzimas degradadoras de plástico: la microbiología

**1. Emplear microorganismos y sus productos para ayudarnos.** Muchos de los productos que usamos diariamente contienen sustancias que originalmente fueron producidas por microorganismos. El antibiótico penicilina, utilizado para el tratamiento de infecciones bacterianas, fue descubierto por primera vez como producto de un hongo. Muchos detergentes para ropa contienen enzimas microbianas que degradan proteínas o grasas. Los microorganismos producen estos compuestos para sobrevivir y prosperar en su entorno, descomponer su alimento o ahuyentar a otros microorganismos que compiten por su comida. Estas habilidades naturales de los microorganismos han sido explotadas, sin saberlo, por los humanos durante miles de años para la producción de alimentos y bebidas, como pan, queso y vino, o para tratamientos médicos. Con las tecnologías modernas, la humanidad ha aprendido cada vez más sobre estas capacidades y ha mejorado la explotación de los procesos microbianos para diversas aplicaciones en las industrias alimentarias, así como en la producción de papel y textiles, el desarrollo farmacéutico, entre otros. Estos procesos biotecnológicos se han vuelto cada vez más importantes para satisfacer las crecientes y cambiantes necesidades de la población mundial, al tiempo que se respeta la implementación esencial de soluciones sostenibles.

**2. Los microorganismos ambientales degradan polímeros naturales.** Generalmente, las sustancias orgánicas producidas en la naturaleza son degradadas por microorganismos y, de esa manera, recicladas. Incluso los polímeros muy duraderos, como la celulosa o la quitina, que proporcionan estructura a plantas y animales, se degradan con el tiempo. Los microorganismos secretan enzimas para descomponer estas largas cadenas de polímeros en piezas más pequeñas que luego pueden absorber y utilizar en su propio metabolismo. Estas enzimas, llamadas celulasas y quitinasas, también pueden producirse de manera industrial. Las celulasas se utilizan en las industrias de pulpa y papel, para el procesamiento de alimentos, como suplemento nutricional o para producir el quitosano, relevante en el ámbito médico. Las quitinasas se emplean en aplicaciones agroquímicas y médicas. En la naturaleza, todos los organismos compiten por el alimento y evolucionan para extraer su nutrición de cualquier tipo de material que tengan disponible, incluso si deben invertir parte de su energía en producir y secretar enzimas para degradar materiales persistentes.

## Un marco educativo en microbiología enfocado en la niñez



Bacterias que producen celulasas, las cuales degradan la celulosa de los árboles en su monómero, la glucosa.

**3. El problema de los plásticos.** Desde la introducción de la producción en masa a mediados del siglo pasado, la producción de plástico ha crecido de manera continua, alcanzando una cifra estimada de 8 300 millones de toneladas métricas para 2015. En ese año, solo alrededor del 9% de los desechos fue reciclado, mientras que el 79% fue depositado en vertederos y en el medio ambiente. Se ha estimado que, para 2050, habrá más plástico que peces en los océanos (en peso), si no se toman medidas correctivas significativas. El plástico es un material sintético o semisintético que consiste en diferentes tipos de polímeros orgánicos inertes. En el medio ambiente, los objetos grandes de plástico pueden fragmentarse debido a parámetros abióticos como la luz, la oxidación, las acciones térmicas y mecánicas, hasta alcanzar un tamaño inferior a 5 mm, los microplásticos. El destino y los efectos de estas micropartículas en la salud de diversos organismos en la biosfera siguen sin resolverse.

**4. Microorganismos degradadores de plástico.** Un posible sumidero para los microplásticos es la degradación microbiana, es decir, la descomposición de una estructura química compleja por microorganismos. La composición microbiana en los desechos plásticos marinos es única en comparación con la del entorno circundante (agua de mar, desechos no plásticos), lo que indica una especificidad para vivir sobre el plástico y, posiblemente, alimentarse de él. En el laboratorio, se ha descubierto que varios microorganismos degradan diferentes tipos de plástico. Una enzima degradadora de poli (etileno tereftalato) (PET), llamada PETasa, fue aislada de una bacteria marina, *Ideonella sakaiensis*. Se propone que la PETasa ha evolucionado a partir de cutinasas que catalizan la hidrólisis de la cutina, un componente principal de la cutícula de las plantas. Esta enzima ha sido modificada para convertirse en una variante de enzima degradadora de plástico más eficiente.

Al estar expuesta al PET en el entorno, *I. sakaiensis* ha ganado una ventaja evolutiva sobre sus competidores al desarrollar sus enzimas para atacar específicamente el PET. Esta adaptación microbiana a su entorno ofrece la esperanza de que podría existir una solución biológica al problema del plástico.

## Un marco educativo en microbiología enfocado en la niñez

**5. Biodescubrimiento de microorganismos degradadores de plástico.** Como los exploradores en busca de tesoros escondidos, los microbiólogos utilizan muchas herramientas y estrategias para el biodescubrimiento de nuevas bioactividades microbianas, como la degradación de plásticos. Hoy en día, se emplean tanto enfoques dependientes de cultivo como independientes de cultivo para el biodescubrimiento. El cultivo y aislamiento de microorganismos pueden basarse en la clásica siembra de muestras ambientales en medios sólidos en placas de Petri con diferentes composiciones y concentraciones de nutrientes. También existen enfoques más elaborados que utilizan los parámetros ecológicos reales de los microorganismos, como el iChip (en el que los microorganismos se cultivan en un chip en el entorno) o la dilución hasta la extinción (donde los microorganismos se separan de los competidores microbianos mediante dilución), que pueden extraer una mayor o diferente diversidad microbiana de la naturaleza al laboratorio. Estos enfoques de cultivo podrían dirigirse directamente a microorganismos degradadores de plástico, proporcionando plástico como la única fuente de energía. Sin embargo, las técnicas basadas en cultivo siempre recuperarán solo una fracción de la biodiversidad real, ya que algunos microorganismos requerirán factores desconocidos (por ejemplo, interacciones microbianas específicas), y, por lo tanto, no crecerán en el laboratorio.

Por lo tanto, los enfoques de biodescubrimiento independientes de cultivo se han vuelto muy útiles. En este caso, se consulta la información de nucleótidos o proteínas (de genomas, metagenomas o transcriptomas) en busca de características específicas, como enzimas degradadoras de plástico. Las eficiencias de estas enzimas pueden luego probarse mediante expresión heteróloga en organismos anfitriones de laboratorio (como *Escherichia coli* o levaduras) sin siquiera conocer al productor natural de la enzima.

Una vez descubiertos los microorganismos o enzimas degradadores de plástico, pueden ser optimizados mediante ingeniería metabólica o de proteínas moderna, como se ha demostrado con la PETasa; esto representa la etapa actual (2020) del desarrollo de las actividades degradadoras de plástico, y hacer que las enzimas sean más eficientes será clave para su aplicación.

**6. Desarrollo de microorganismos degradadores de plástico y sus enzimas.** Con microorganismos o enzimas degradadores de plástico altamente eficientes a mano, sus aplicaciones necesitarían pasar por una cuidadosa evaluación de riesgos. La utilización de cualquier cepa o enzima en el medio ambiente debería ser monitoreada de cerca para evaluar una posible propagación descontrolada de sus bioactividades. Los biofiltros que atrapan microorganismos vivos degradadores de plástico o sus enzimas podrían proporcionar un método aplicable para la biorremediación o el tratamiento de aguas residuales. La implementación biotecnológica de las vías metabólicas degradadoras de plástico para la utilización del plástico como materia prima en fábricas celulares podría controlarse en biorreactores cerrados.

Aunque el problema del plástico en el medio ambiente y en los vertederos es un gran desafío, el plástico sigue siendo un material muy importante y útil, y su destrucción descontrolada tendrá graves consecuencias, por lo que debe ser evitada de cualquier manera.

**Relevancia para los Objetivos de Desarrollo Sostenible y los  
Grandes Desafíos**

## Un marco educativo en microbiología enfocado en la niñez

La dimensión microbiana del desarrollo de nuevas enzimas para la degradación de plásticos se relaciona con varios ODS (*aspectos microbianos*), incluidos:

- **Objetivo 12. Asegurar patrones de consumo y producción sostenibles.** Actualmente, el uso del plástico es un camino de un solo sentido, ya que se produce a partir de combustibles fósiles y termina en el medio ambiente o en vertederos, o se incinera. Los procesos enzimáticos podrían contribuir a reutilizar o reciclar el plástico para que pueda ingresar a una economía circular.
- **Objetivo 13. Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus impactos.** La producción de plástico virgen tiene un impacto significativo en el carbono, y el reciclaje del plástico podría ayudar a reducir esta huella.
- **Objetivo 14. Conservar y usar de manera sostenible los océanos, mares y recursos marinos para el desarrollo sostenible.** El plástico virgen se produce a partir de materias primas fósiles y la explotación de combustibles fósiles puede llevar a una contaminación drástica del medio ambiente. Encontrar soluciones sostenibles para reciclar plástico protegerá la biodiversidad y los recursos marinos.

### Participación de los estudiantes

#### 1. *Discusión de clase*

- ¿Qué objetos que usas a diario contienen plástico?
- ¿Qué pasaría si estos objetos desaparecieran de repente?
- ¿Qué productos de uso doméstico contienen enzimas?
- ¿Dónde buscarías nuevas bioactividades y por qué?
- ¿Puedes identificar otras áreas donde los microorganismos o sus enzimas podrían reemplazar técnicas (químicas) actuales?
- ¿Cómo podríamos eliminar los desechos plásticos existentes del medio ambiente?

#### 2. *Conciencia de los estudiantes sobre las partes interesadas*

- ¿Por qué es importante la sostenibilidad en la vida cotidiana?
- ¿Cómo podemos, como sociedad, reducir los desechos plásticos?
- ¿Quiénes se verían afectados si se elimina el plástico del medio ambiente?

#### 3. *Ejercicio*

- ¿Por qué es persistente el plástico en el medio ambiente?
- ¿Cómo podemos descubrir nuevas actividades microbianas?
- ¿Cómo podríamos emplear enzimas degradadoras de plástico en una aplicación?

### La base de evidencias, lecturas adicionales y materiales didácticos

¿Pueden los microbios limpiar nuestro desastre oleoso? – por the Scientific American [https://youtu.be/a\\_HWIFzgQiM](https://youtu.be/a_HWIFzgQiM)  
Científicos alemanes identifican un microbio que podría ayudar a degradar plásticos basados en

## Un marco educativo en microbiología enfocado en la niñez

poliuretano - Science News <https://blog.frontiersin.org/2020/03/27/german-scientists-identify-microbe-that-could-help-degrade-polyurethane-based-plastics/>

Microbios degradadores de plástico para un futuro más limpio – por Sarah Wettstadt <https://sarahs-world.blog/bacteria-degrade-plasticz/>

Danso D, Chow J, Streit WR (2019) Plásticos: Perspectivas ambientales y biotecnológicas sobre la degradación microbiana. *Appl Environ Microbiol*, 85 (19): 1–14. <https://doi.org/10.1128/AEM.01095-19>

Ellen MacArthur Foundation (2016) La nueva economía de los plásticos: repensando el futuro de los plásticos. [http://www3.weforum.org/docs/WEF\\_The\\_New\\_Plastics\\_Economy.pdf](http://www3.weforum.org/docs/WEF_The_New_Plastics_Economy.pdf)

Roager L, Sonnenschein EC (2019) Candidatos bacterianos para la colonización y degradación de plásticos marinos Debris. *Environ Sci Technol* 53 (20), 11636–11643. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b02212>

Yoshida S, Hiraga K, Takehana T, et al (2016) Una bacteria que degrada y asimila el poli (etileno tereftalato). *Science* 351:1–5. <https://doi.org/10.1126/science.aad6359>

### Glosario

Enzima: proteínas que actúan como catalizadores biológicos

Polímero: macromoléculas compuestas de muchas subunidades repetidas

Biotecnología: la investigación y desarrollo de productos utilizando organismos vivos

Biorremediación: el proceso de limpieza de ambientes contaminados usando organismos vivos

Biodescubrimiento: el descubrimiento de nuevas moléculas u organismos biológicos.

## **Un marco educativo en microbiología enfocado en la niñez**